

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL, UN CASO DE ESTUDIO REFERENCIADO A LA PLANTA DE
TRATAMIENTO EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO DE POPAYÁN**



**JAVIER ANDRÉS HURTADO MERA
JOHNY ALEXANDER JAÉN LÓPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2010**

**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL, UN CASO DE ESTUDIO REFERENCIADO A LA PLANTA DE
TRATAMIENTO EL TABLAZO DEL ACUEDUCTO DE POPAYÁN**



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

**JAVIER ANDRÉS HURTADO MERA
JOHNY ALEXANDER JAÉN LÓPEZ**

**Director.
ING. ÁLVARO RENÉ RESTREPO GARCÉS**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA, INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL
POPAYÁN
2010**

Nota de aceptación: _____

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Popayán, agosto de 2010.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero que todo a Dios por permitirnos culminar esta etapa de nuestra carrera. A nuestras familias por el apoyo incondicional, la comprensión y la paciencia. A los ingenieros, Daniel Zuluaga, Jhon Jairo Galindez, Martha Orozco, Iván Darío Rojas y Gustavo Ramírez, por sus valiosos aportes en el desarrollo del presente trabajo, al Ingeniero Álvaro René Restrepo por su dedicación, aportes y acompañamiento, a las empresas CENTRO AGUAS S.A y ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A por facilitarnos la información y el interés en la aplicación de la propuesta, y a todas las personas que durante este tiempo nos brindaron su apoyo constante.

CONTENIDO

	Pag
INTRODUCCIÓN	1
1. MODELOS DE PLANEACIÓN, CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS	3
1.1 CONCEPTOS SOBRE PLANEACIÓN	4
1.1.1 Definición de planeación.....	4
1.1.2 Tipos De Planes	4
1.2 MODELOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN	6
1.3 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN	17
1.4 ANÁLISIS DE UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN EN UN ACUEDUCTO ..	29
Conclusiones capítulo 1.....	30
2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PARA UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	32
2.1 DESARROLLO DEL PLAN	35
2.1.1 Etapa I Conocimiento del proceso productivo	35
2.1.1.1 Fase 1 Diagnóstico del proceso productivo	36
2.1.1.2 Fase 2 Priorización de las necesidades	45
2.1.2 Etapa II Metas y alcance.	46
2.1.2.1 Fase 1 Establecimiento de límites y alcance.....	47
2.1.2.2 Fase 2 Definición de objetivos.	49
2.1.3 Etapa III Propuesta De Solución	49
2.1.3.1 Fase 1 Propuesta de solución.	49
2.1.3.1.1 Componente Técnico.	50
2.1.3.1.2 Componente administrativo.	51

2.1.3.1.3 Componente de costos.....	53
2.1.4 Control de cambios	54
2.1.5 Etapa IV Documentación Detallada De La Solución.....	56
2.1.5.1 Fase 1 Documentación y detalle de la solución.....	57
2.1.5.2 Fase 2 Programa detallado de trabajo.....	58
2.1.6 Etapa V Pruebas.	61
2.1.6.1 Fase 1 Pruebas del sistema.	61
2.1.6.1.1 Pruebas del sistema de control.....	62
2.1.6.2 Fase 2 Puesta en marcha	63
2.1.7 Etapa VI Entrega Del Proyecto	63
2.1.7.1 Fase 1 Capacitación del Personal.....	63
2.1.7.2 Fase 2 Entrega del proyecto	64
Conclusiones capítulo 2.....	65
3. DESARROLLO DEL PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.	67
3.2 APLICACIÓN PLAN DE IMPLEMENTACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO	69
3.2.1 Etapa I Conocimiento De La Empresa.....	69
3.2.1.1 Fase 1 Diagnostico del procesos productivo	69
3.2.1.2 Fase 2 Definición de necesidades específicas.	86
3.2.1.1.1 Matriz de criterios para la priorización de problemas.	88
3.2.2 Etapa II Alcance Y Metas.....	91
3.2.2.1 Fase 1 Establecimiento de límites y alcance.....	91
3.2.2.1 Fase 2 Definición De Objetivos.	92
3.2.2.2 Etapa III Propuesta De Solución	93
3.2.2.2.1 Fase 1 Propuesta de solución.	93
CONCLUSIONES	102
SUGERENCIAS	104

BIBLIOGRAFÍA 105

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1 Tipos de Planes	5
Figura 2 Pasos propuestos por Henry Mintzberg	6
Figura 3 Fases para realizar proyectos de automatización, programa de automática industrial.....	8
Figura 4 Modelo Referencial de Automatización Integral	10
Figura 5 Modelo de fases para el desarrollo de sistemas productivos	12
Figura 6 Diagrama del ciclo de vida de la gestión del proyecto.....	13
Figura 7 Proceso para la elaboración del plan de implementación propuesto.	32
Figura 8 Diagrama de fases y etapas del plan para la implementación de proyectos de automatización industrial	34
Figura 9 Modelo Físico ISA S88.01	40
Figura 10 Modelo de Control Procedimental ISA S88.01.....	41
Figura 11 Modelo de Proceso ISA S88.01	42
Figura 12 Modelo Jerárquico.....	48
Figura 13 Ejemplo de un diagrama de Gantt.....	52
Figura 14 Diagrama de Gantt complementado	61
Figura 15 Pasos para el plan para la implementación de un proyecto de automatización en la planta El Tablazo.....	68
Figura 16 Etapas del proceso de potabilización en la plana El Tablazo.....	72
Figura 17 Diagrama P&ID actual bocatoma.....	73
Figura 18 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes actual.....	76
Figura 19 Diagrama P&ID filtración actual	79
Figura 20 Diagrama P&ID cloración y almacenamiento actual.....	80
Figura 21 Diagrama de bloques	82
Figura 22 Modelo Físico	82
Figura 26 Diagrama de Gantt complementado para las actividades de instalación de la automatización de la planta El Tablazo	100

LISTA DE TABLAS

	Pag
Tabla 1 Etapas del proceso de planeación genérico	7
Tabla 2 Etapas planeación en ingeniería en automática industrial.....	9
Tabla 3 Fases de la Metodología de automatización integrada de procesos.	11
Tabla 4 Modelo usado por la empresa Bay-Tec Engineering.....	14
Tabla 5 Comparación de modelos de planeación.....	18
Tabla 6 Información a recolectar.....	37
Tabla 7 Actividades para el análisis de la información.....	43
Tabla 8 Actividades para el desarrollo de la matriz de criterios	46
Tabla 9 Actividades para determinar el alcance y las metas del proyecto	48
Tabla 10 Contenido de la propuesta en el componente técnico	50
Tabla 11 Contenido de la propuesta en el componente administrativo	51
Tabla 12 Estimados para el costo del proyecto	53
Tabla 13 Componente del control de cambios	55
Tabla 14 Descripción de los documentos de la fase de documentación y detalle de la solución	57
Tabla 15 Recursos para la instalación	60
Tabla 16 Pasos para la realización de pruebas del sistema	61
Tabla 17 Pruebas del sistema de automatización	62
Tabla 18 Pasos para la puesta en marcha del sistema	63
Tabla 19 Actividades para la capacitación del personal	64
Tabla 20 Actividades para la capacitación del personal	64
Tabla 21 Información recolectada	69
Tabla 22 Tubería de conducción	73
Tabla 23 Características de las cámaras de llegada.....	74
Tabla 24 Características de los floculadores planta El Tablazo.....	77
Tabla 25 Características de filtros en la planta El Tablazo	78
Tabla 26 Capacidad de almacenamiento.....	81
Tabla 27 Modelo de control procedimental.....	83

Tabla 28 Modelo de proceso	84
Tabla 29 Análisis de la información.....	85
Tabla 30 Necesidades de automatización en la Planta de tratamiento el Tablazo	86
Tabla 31 Expectativas del sistema de automatización.....	88
Tabla 32 Problemas en la planta El Tablazo	88
Tabla 33 Criterios para la selección de problemas.....	89
Tabla 34 Jerarquización de problemas	90
Tabla 35 Tareas del nivel 1	91
Tabla 36 Tareas del nivel 2	92
Tabla 37 Relación de sensores	96
Tabla 38 Selección de elementos para la solución propuesta.	96
Tabla 39 Cambios en la planta	97
Tabla 40 Requerimientos de personal	98
Tabla 41 Programa de capacitación	101

INTRODUCCIÓN

Para la implementación de proyectos de automatización industrial son muchas las actividades que se requieren realizar y gran parte de éstas tienen un nivel de complejidad elevado, por tal razón es posible pensar que este tipo de actividades requieren planeación adecuada en todas las etapas de su implementación, con el objetivo de invertir acertadamente los recursos destinados para tal fin.

La planeación es fundamentalmente una elección sobre el futuro. Presupone la capacidad de escoger entre varias alternativas, la que resulte más conveniente. Los planes y la planeación se refieren necesariamente a actividades futuras cuya orientación y propósito han sido trazados de antemano.

A pesar de que la planeación es una actividad compleja, no se cuenta con guías claras, ejemplarizadas y de libre acceso, que permita a las empresas que no cuentan con metodologías de planeación desarrollar sus proyectos de control. En muchos casos los métodos empleados hacen parte de la ventaja competitiva de las empresas dedicadas a la automatización, lo cual hace que dichas metodologías sean privadas

En el primer capítulo se presenta la conceptualización y análisis de modelos de planeación usados en diferentes campos de la ingeniería, en éste se recopila información de diferentes fuentes: consulta bibliografía relacionada con diversos modelos de planeación, entre éstos los usados en el programa de Ingeniería en automática industrial de la Universidad del Cauca para el desarrollo de materias relacionadas con este tema, acceso además a metodologías utilizadas por empresas del sector de la automatización, como la utilizada en la empresa Bay-Tec Engineering con experiencia en el mercado de automatización en Estados Unidos y la metodología de una empresa con experiencia y reconocimiento en el campo de la automatización en

el país¹. Todos los contenidos de las diferentes metodologías se analizaron bajo aspectos comunes en el proceso de planeación para poder observar sus fortalezas y debilidades entre ellas, aplicadas al campo de la ingeniería en automática industrial.

El diseño del plan propuesto, se enriquece además de la visita a una planta de tratamiento de potabilización de agua en la ciudad de Tuluá, en la cual se han desarrollado proyectos de automatización para sus diferentes procesos. Su experiencia se toma como base para los desarrollos técnicos y de planeación, mejorando la propuesta a partir de experiencias exitosas de automatización.

En el segundo capítulo, tomando como referencia dichos modelos y usando las fortalezas de cada uno de ellos, se realizó un bosquejo del plan propuesto, éste fue revisado por ingenieros que se dedican a la planeación, desarrollo e implementación de este tipo de proyectos. Entre ellos el señor Daniel Zuluaga, Ingeniero Electrónico de la Pontificia Universidad Javeriana, con 13 años de experiencia en el ramo de la automatización industrial, Gerente de proyectos y Coordinador de instrumentos de Tipiel S.A., el ingeniero Jhon Jairo López Galindez, ingeniero auxiliar de control de procesos en la planta de producción de papel Propal S.A, del campo académico se contó con la colaboración de la ingeniera Martha Orozco, ingeniera Eléctrica de la Universidad del Valle con maestría en automática y experiencia en proyectos de automatización industrial, entre otros ingenieros dedicados a la automatización de procesos industriales, quienes laboran en empresas dedicadas a la implementación de proyectos de este tipo.

Una vez se aprobó el diseño del plan de implementación por las diferentes personas que intervinieron en su revisión, en el tercer capítulo se procede a hacer su aplicación a un caso de estudio en la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A.

¹ A petición de la empresa se reserva la información de su nombre así mismo como los contenidos de su información.

1. MODELOS DE PLANEACIÓN, CONCEPTUALIZACIÓN Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se ilustrarán los conceptos generales del proceso de planeación, con el fin de obtener una base de conocimiento sobre dicho proceso y poder emplearlo posteriormente en el diseño del plan para la implementación de proyectos de automatización industrial. Se presentarán metodologías usadas tanto en el campo académico como en empresas dedicadas a la implementación de sistemas de control automatizado en la industria. Estas metodologías se analizarán y se compararán entre sí para poder establecer las diferentes fortalezas y debilidades de cada uno de los mismos.

Existen varios tipos de planes, cada uno de ellos con un grado de complejidad y detalle diferente, su aplicación depende principalmente del área sobre la que se desee incidir dentro de una organización o empresa, y si bien los campos de aplicación son diversos, existen características en la planeación que son comunes sea cual sea el campo en el que se esté empleando. Escoger acertadamente el tipo de plan es determinante, una mala elección implicaría un plan sobre dimensionado o que no supliría las necesidades para las que fue creado.

La planeación es un proceso lógico y por tal razón tiene una secuencia de pasos que deben cumplirse para llevarla a cabo, éstos a pesar de ser de libre elección por el planeador, deben cumplir ciertos requisitos para que el plan sea efectivo y como se mencionó anteriormente no cumpla las expectativas.

Se expone además la experiencia en la implementación de un sistema de automatización de una planta de tratamiento de agua potable. El estudio de casos similares se realiza con frecuencia en la industria, en el desarrollo del plan se usará la experiencia de dicha automatización con el fin de extraer ideas para la implementación del proceso de potabilización en la planta El Tablazo.

1.1 CONCEPTOS SOBRE PLANEACIÓN

1.1.1 Definición de planeación

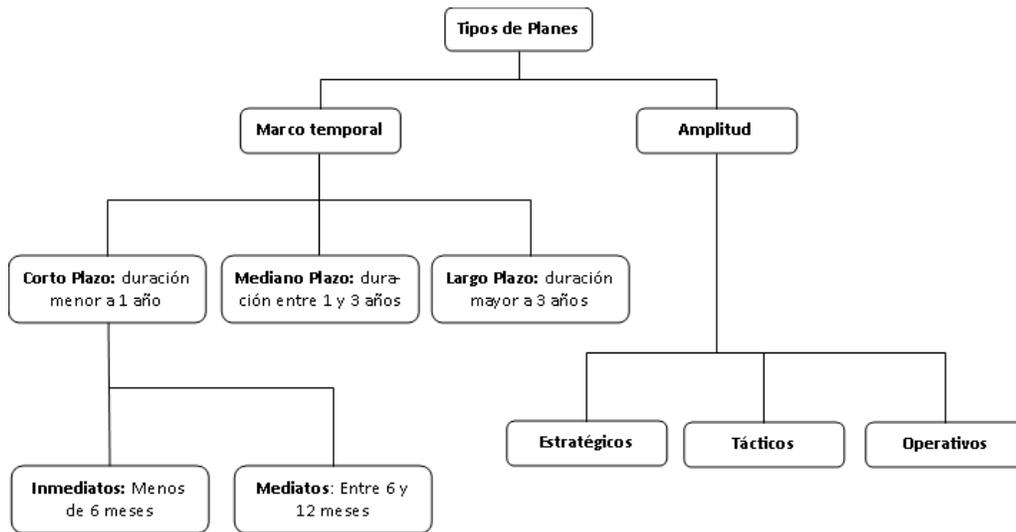
En términos concretos planear significa llevar a cabo acciones de planeación; implica decidir, en el presente, las acciones que habrán de ejecutarse en el futuro, con el fin de arribar a objetivos previamente establecidos. De acuerdo con ello, la planeación puede definirse como un proceso anticipatorio de asignación de recursos (personas, bienes, dinero y tiempo) para el logro de fines determinados. [1]

Algunos autores establecen la diferencia entre plan, planeación y planificación. El plan representa la concreción documental del conjunto de decisiones explícitas y congruentes para asignar recursos a propósitos preestablecidos. La planeación implica el proceso requerido para la elaboración del plan. En cambio, la planificación representa el ejercicio (la aplicación concreta) de la planeación vinculada con la instrumentación teórica requerida para transformar la economía o la sociedad. La planificación ha sido entendida como la tecnología de anticipación de la acción política en materia social y/o económica. [2]

1.1.2 Tipos De Planes

Los planes son el resultado del proceso de planeación y pueden definirse como esquemas o diseños detallados de lo que habrá de hacerse en el futuro y las especificaciones necesarias para lograrlo. Los planes se pueden caracterizar de acuerdo a los siguientes aspectos, como se muestra en la figura 1:

Figura 1 Tipos de Planes



Fuente: Elaboración propia, enero de 2010.

A continuación se describe la anterior clasificación:

- **Por su amplitud:** estos se dividen en estratégicos, tácticos y operativos.
 - **Estratégicos:** estos planes establecen los lineamientos generales de la organización y son la base para los planes tácticos y operativos.
 - **Tácticos:** mediante este tipo de plan se especifican los lineamientos de cada departamento y dependen de la planeación estratégica, a su vez se convierten en planes que se pueden emprender, subdividir y detallar en planes operacionales.
 - **Operacionales:** se rigen de acuerdo a los lineamientos establecidos por la planeación táctica, y su función consiste en la formulación y asignación de actividades más detalladas que deben ejecutar los últimos niveles jerárquicos de la empresa. Determinan las actividades que debe desarrollar el elemento humano. [2]

1.2 MODELOS DEL PROCESO DE PLANEACIÓN

Como ya se ha dicho el proceso de planeación es muy importante para finalizar con éxito cualquier tarea, sea cual sea el área de la ciencia en la que se aplique, y más aún en el campo de la ingeniería, donde lo deseable es dejar la improvisación por fuera de cualquier actividad.

Un plan es un conjunto complejo de decisiones que actúan unas sobre otras, que se puede dividir de muchas maneras distintas y depende básicamente de las necesidades del planeador. El único requisito es no dejar las decisiones importantes por fuera del plan.

El autor Henry Mintzberg [3] propone una serie de actividades mediante las cuales se logra concluir el proceso de planeación, para tal fin propone la siguiente división que tiene la estructura esquematizada en la figura 2, este tipo de planeación es indiferente del área de la ciencia en la que se aplique.

Figura 2 Pasos propuestos por Henry Mintzberg



Fuente: elaboración Propia, enero de 2010

Tabla 1 Etapas del proceso de planeación genérico

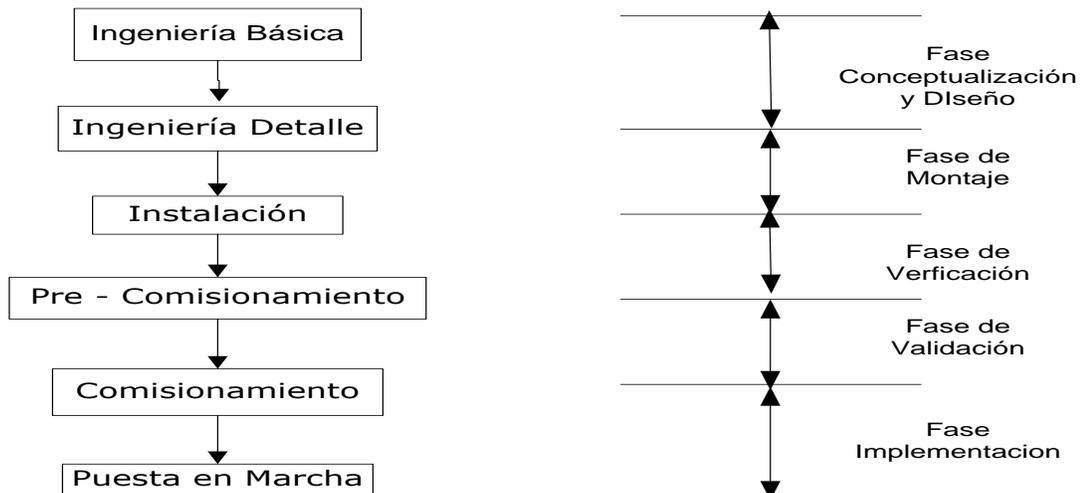
Propósitos	La planeación, se inicia a partir de la definición de los propósitos, éstos son los fines esenciales o directrices que definen la razón de ser, naturaleza y carácter de cualquier organización	
Premisas	Son suposiciones que se deben considerar ante aquellas circunstancias o condiciones futuras que afectarán el curso en que va a desarrollarse el plan.	<p>Internas: se originan dentro de la empresa e influyen en el logro de los propósitos</p> <p>Externas: factores o condiciones de orígenes ajenos a la empresa, pero que afectan decisivamente el desarrollo de sus actividades y que por lo mismo, deben tomarse en cuenta al planear.</p>
Objetivos	Representan los resultados que la empresa espera obtener, son fines por alcanzar, establecidos cuantitativamente y determinados para realizarse transcurrido un tiempo específico.	
Estrategias	Cursos de acción general o alternativas, que muestran la dirección y el empleo de los recursos y esfuerzos, para lograr los objetivos en las condiciones más ventajosas	
Tipos De Políticas	Estratégicas o generales	Formuladas a nivel de alta gerencia y su función es establecer y emitir lineamientos que guíen a la empresa como una unidad integrada.
	Tácticas o departamentales	Lineamientos específicos que se refieren a cada departamento.
	Operativas o específicas	Se aplican principalmente en las decisiones que tienen que ejecutarse en cada una de las unidades de las que consta un departamento.
Programas	Esquemas en donde se establece la secuencia de actividades específicas que habrán de realizarse para alcanzar los objetivos, y el tiempo requerido para efectuar cada una de sus partes y todos aquellos eventos involucrados en su consecución.	
Procedimientos	Establecen la secuencia para efectuar las actividades rutinarias y específicas; se establecen de acuerdo con la situación de cada empresa, de su estructura organizacional, clase de producto, turnos de trabajo, disponibilidad de equipo y material, incentivos.	
Presupuestos	Son programas en los que se les asignan cifras a las actividades, mediante su uso se proyecta cuantificadamente, los elementos necesarios para que se cumplan los objetivos; implican una estimación de capital, de los costos, de los ingresos, y de las unidades o productos requeridos para lograr los objetivos.[3]	

Fuente: elaboración propia, junio de 2010

El área de la ingeniería tiene tareas específicas que conllevan algún grado de especialización, por tal razón existen modelos de planeación usados para llevar a cabo los proyectos de esta área de la ciencia. Se presentan a continuación metodologías de planeación en ingeniería, usadas tanto en el campo académico como en la industria.

En la materia proyecto de automatización I, del programa de Ingeniería en automática industrial de la Universidad del Cauca, para desarrollar un proyecto de automatización de cualquier proceso productivo, exigido en la asignatura, se sigue el esquema que se muestra en la figura 3 y en la tabla 2 se muestra su contenido.

Figura 3 Fases para realizar proyectos de automatización, programa de automática industrial



Fuente: elaboración propia enero de 2010, con base en información de la materia proyecto de automatización I.

Durante el desarrollo de la materia mencionada, únicamente se trabaja con las primeras dos etapas de la planeación, ya que los proyectos no son llevados a la práctica. La generación de proyectos usando esta metodología permite hacerse a una buena base de conocimiento sobre el proceso productivo que se desea automatizar, pero se dejan por fuera aspectos importantes como las necesidades reales de los procesos y de la empresa, desconociendo en muchos casos su naturaleza.

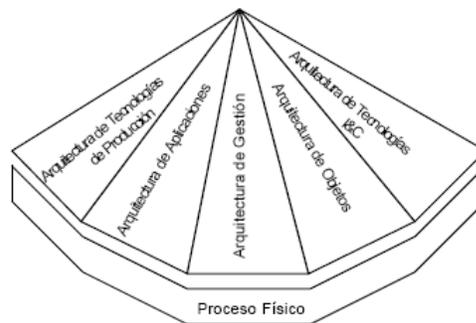
Tabla 2 Etapas planeación en ingeniería en automática industrial

Etapas del proyecto	Documentación	Actividades
Ingeniería Básica	Especificación Funcional	<ul style="list-style-type: none"> • Describir el proceso a controlar. • Definir el alcance y límites. • Describir el sistema de control.
	Diagrama P&ID	
	Lista I/O	
	Lista de Instrumentos	
	Layout del Sistema	
Ingeniería del Detalle	Plano del montaje	<ul style="list-style-type: none"> • Definir Tecnologías • Describir Programas y Codificación de la estructura Informática. • Revisar Ingeniería Básica. • Definir cronograma de Actividades.
	Diagramas P&ID detallado	
	Diagrama de montaje	
	Ruta de montaje	
	Diagrama de alimentación, conexiones y distribución eléctrica	
Especificación de Instrumentos		
Instalación		<ul style="list-style-type: none"> • Instalar o Crear Componentes Hardware y software
Pre – comisionamiento	Registro precomisionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Comparar entre lo proyectado y lo ejecutado • Realizar pruebas de campo para verificar errores
Comisionamiento	Registro de comisionamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Validar lazos de control • Validar los instrumentos con el sistema como unidad • Registrar errores • Validar el sistema emulando las entradas
Puesta en Marcha	Planos construidos del sistema con modificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Definir la salida esperada para cada entrada prueba • Aplicar entradas reales o simuladas • Revisar el estado de la salida y las desviaciones que ocurran • Registrar Desviaciones • Comprobar cada lazo de forma manual • Probar controladores, primero manual y luego automático • Verificación de operación de controles • Realizar sintonía fina de los lazos • Registrar los valores de parámetros de cada lazo [4]
	Manuales operativos y de servicio de equipos	
	Registros del comisionamiento	
	Registros del arranque	
	Hoja de sintonía de lazos	

Fuente: elaboración propia, marzo de 2010.

En el Laboratorio de Sistemas Discretos en Automatización de la Universidad de los Andes se ha desarrollado una Metodología para la automatización integrada de procesos de producción [14], esta metodología denominada METAS (Método para la Automatización integral de sistemas) está fundamentada en la pirámide de automatización MRAI (Modelo Referencial de Automatización Integral) esquematizado en la figura 4, este modelo muestra el proceso productivo y cinco arquitecturas encargadas de brindarle soporte.

Figura 4 Modelo Referencial de Automatización Integral



Fuente: "Metodología para la automatización integrada de procesos de producción basada en el enfoque holónico", Chacón, E; Universidad de los Andes; 2008

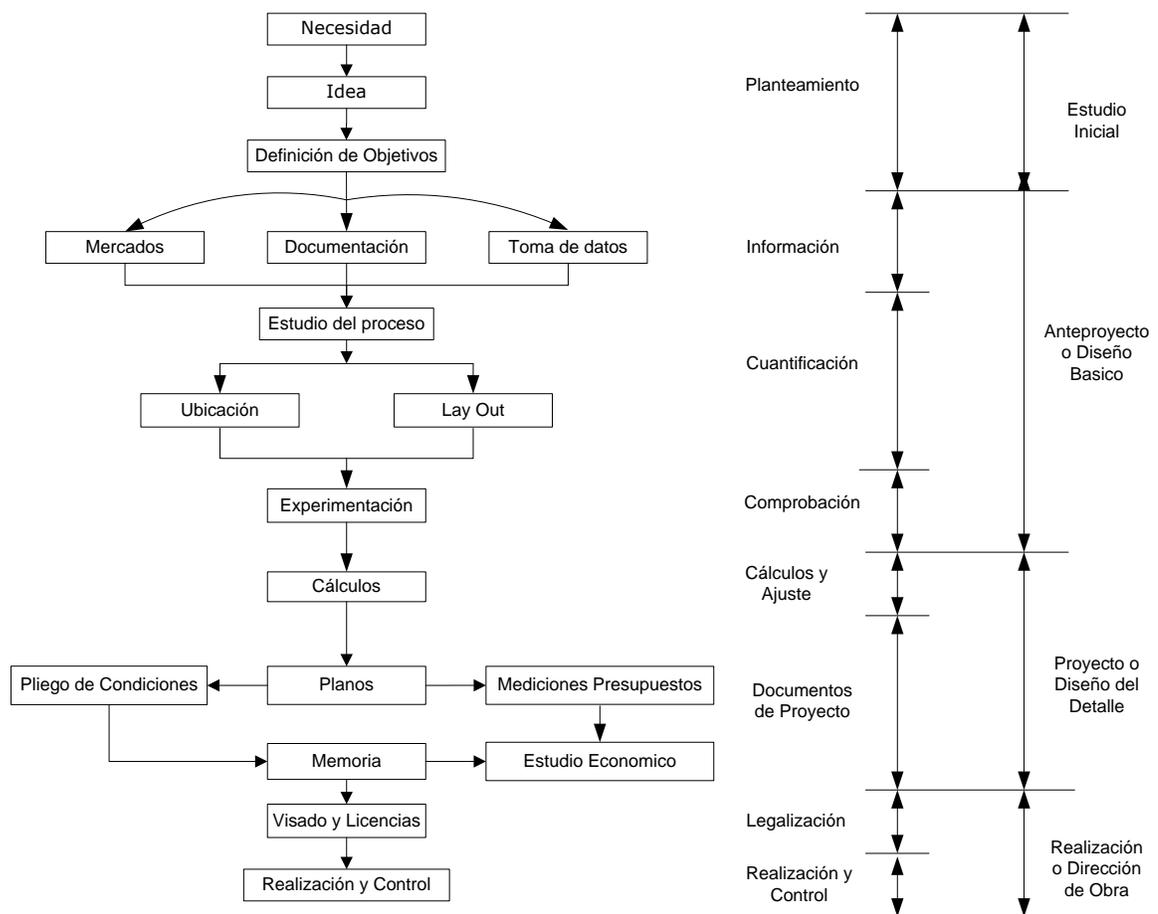
El objetivo principal de este método es guiar el proceso de desarrollo de planes estratégicos de integración, mediante la especificación o diseño de cada una de las caras o arquitecturas contempladas en el modelo MRAI, Los planes estratégicos, elaborados siguiendo el método METAS, describen que debe hacer la empresa para implementar estas arquitecturas; así como el tiempo a emplear y los recursos a utilizar. La metodología consta de cuatro fases las cuales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3 Fases de la Metodología de automatización integrada de procesos.

Fase	Insumo	Proceso	Resultado
Diagnóstico de la empresa	<ul style="list-style-type: none"> Objetivos de Producción. Visión de la Empresa. Visión de la estructura organizativa. Identificación de Unidades de Producción. 	<ul style="list-style-type: none"> Visión de la Empresa. Construcción de la Cadena de Valor. Recolección de información. Determinación del nivel de automatización 	<ul style="list-style-type: none"> Cadena de Valor Objetos y procesos de negocios Visión de la empresa Nivel actual de automatización
Estudio de factibilidad	<ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico de la empresa. Tecnologías disponibles. Información de especialistas. 	<ul style="list-style-type: none"> Refinamiento Cadena de Valor. Especificación de interacciones entre U. de Producción Especificación de interacciones externas Definición de Tecnologías. Determinación de la viabilidad del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> Listado de aplicaciones a ser implementadas para U. de Producción Mapa de interacciones entre las U. de Producción Tecnologías para implementar las aplicaciones y su integración. Estimación general de costos. Factibilidad del proyecto.
Ingeniería del detalle	<ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico y Estudio de Factibilidad. Formalismos para Modelado Empresarial. Estándares internacionales. Tecnologías disponibles. Información de especialistas. 	<p>Especificación de modelos y tecnologías para:</p> <ul style="list-style-type: none"> Piso de planta. Supervisión del proceso. Coordinación de los procesos de negocios. Gestión de Negocio. 	<ul style="list-style-type: none"> Modelos dinámicos para los procesos intra-unidad e inter-unidades. Listado de recursos a ser adquiridos. Listado de aplicaciones a ser desarrolladas o adquiridas. Tecnologías para implementar las aplicaciones y su integración. Presupuesto.
Plan de implementación	<ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico de la empresa. Especificación de componentes, aplicaciones y tecnologías. Modelos dinámicos de control, supervisión y gestión. Información de proveedores de automatización 	<ul style="list-style-type: none"> Escogencia del escenario de la empresa. Cronograma de implantación. Selección de proveedores y consultores. Capacitación de personal 	<ul style="list-style-type: none"> Documentos de especificación de productos: Licitación. Cronograma de implantación. Estructura organizativa permanente de la empresa y grupo temporal de ejecución de la implementación.

Se presenta a continuación un modelo de fases, usado para llevar a cabo proyectos de desarrollo de sistemas productivos. En la figura 5 se esquematizan los pasos seguidos en este modelo.

Figura 5 Modelo de fases para el desarrollo de sistemas productivos



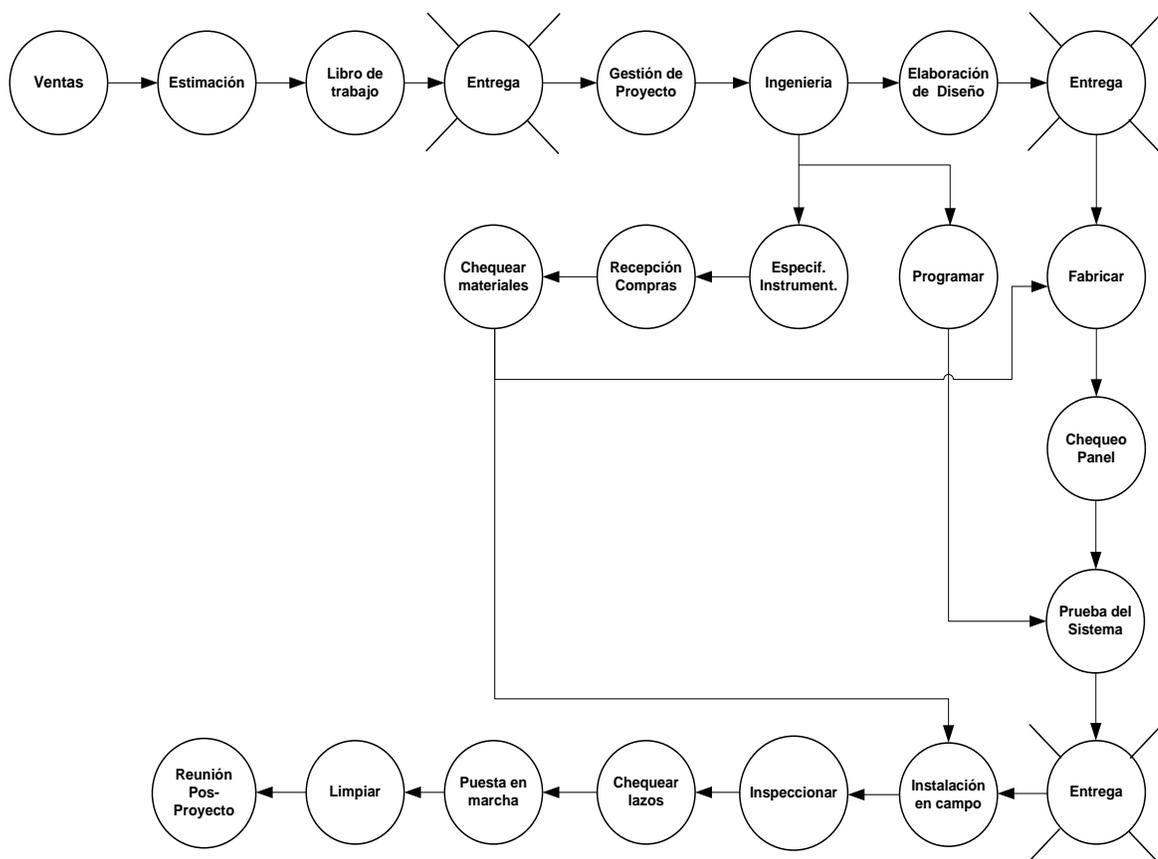
Fuente: "Introducción al proyecto de producción", Capuz, S; Universidad Politécnica de Valencia; 2001

Este modelo inicia determinando la necesidad de la empresa y a partir de ésta se generan las ideas para su solución, pero no evidencia claramente programación de las tareas específicas para cumplir los objetivos definidos al inicio. Se presenta una etapa para el estudio del proceso pero queda implícito que tan amplio debe ser este estudio y como debe llevarse a cabo.

Bay-Tec Engineering, es una empresa del ramo de la ingeniería en automatización industrial, dedicada a diseñar y construir sistemas de control, con más de 25 años de experiencia en el mercado estadounidense. Ha desarrollado un enfoque sobre el ciclo de vida de la gestión del proyecto, que define las tareas del proyecto y le asigna formalidad. [5] Este ciclo de vida direcciona las zonas típicas de los problemas en un proyecto, que incluye pasar información de un grupo a otro, y garantizar la documentación completa y precisa.

En la figura 6 se muestra el modelo que usa la empresa para llevar a cabo la gestión de sus proyectos y en la tabla 4 se describe cada una de sus etapas.

Figura 6 Diagrama del ciclo de vida de la gestión del proyecto



Fuente: "Using a Project Management Methodology for a Control System Project"; Kelm, A; Technical Conference Paper; ISA 2002; Chicago, IL

Tabla 4 Modelo usado por la empresa Bay-Tec Engineering

Actividades	Descripción
Ventas	Es el departamento que se encarga de contactar el cliente y conocer sus necesidades, cotizar y acompañar durante el proceso de licitación, este departamento entrega esta información al departamento de estimación
Estimación	Determinan el costo del proyecto. Deben establecer contacto con el departamento de ventas y con quien será el encargado del proyecto.
Libro de trabajo	Una vez el proyecto se aprueba o se vende, el departamento de ventas debe entregar todos los documentos donde este consignada la información del proyecto. Se debe preparar la primera reunión entre el departamento de ventas, estimación, cliente y el encargado del proyecto.
Entrega	Se hace entrega de todos los documentos recogidos por los diferentes departamentos involucrados hasta esta etapa al encargado del proyecto. En esta reunión se discuten las ideas que darán solución al problema y como serán ejecutadas. Se establecen cronogramas o programa de hitos, ventas y estimación terminan su participación y el encargado del proyecto toma toda la responsabilidad.
Gestión de Proyectos	<p>Se definen las tareas que le corresponden al encargado del proyecto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crear un formato mediante el cual se establezcan los costos asociados a cada tarea, este formato le será útil tanto al encargado del proyecto para conocer el estado del proyecto como al departamento de contabilidad. • Crear una lista de chequeo donde se ubican las tareas mas importantes y la fecha de terminación. • Programar reuniones periódicas con el cliente para discutir cronogramas y requerimientos del proyecto. • Programar reuniones con el gerente de ingeniera y el gerente de construcción para determinar los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto. <p>Realizar reportes continuos sobre el estado del proyecto, revisión de facturación suministro de información, registro de cambios, anticiparse a problemas que puedan ocurrir.</p>
Realizar Compras	Una vez el cliente ha aprobado el diseño este se pasa al departamento de compras. Las especificaciones para materiales e instrumentos se entregan a este departamento. Estas compras deben estar aprobadas por el encargado del proyecto. El departamento de recepción se asegura de que lo recibido sea lo que se ha solicitado. La base de datos se actualizada con lo recibido.
Chequear materiales	Una vez se han recibido los materiales y se ha verificado lo recibido con lo solicitado, se realiza un chequeo de los materiales, en el caso de los instrumentos se verifica su funcionamiento y especificaciones. Para estas tareas se debe contar con un formato de chequeo, el cual debe pasar a ser parte de la base de datos de conocimiento del sistema.

Tabla 4 (Continuación)

Actividades	Descripción	
Ingeniería	Diseño hardware y software	<p>Las tareas correspondientes al área de ingeniería son</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hacer reportes periódicos al gerente del proyecto • Desarrollar las tareas de ingeniería básica y de detalle. • Crear los P&ID, así como los listados de entradas y salidas. • Trabajar en conjunto con los dibujantes y diseñadores para crear los planos y los esquemas del montaje del sistema. • Crear una base de datos con la información de la instrumentación y sus manuales. • Realizar formatos de calibración, chequeos de lazo entre otros. • Organizar la información sobre fechas de órdenes, recibos de calibración, entregas a clientes • Generar un documento con la descripción el sistema de control, incluyendo graficas de jerarquía, diagramas de control, alarmas, entradas y salidas, y todos los demás elementos del sistema que sean necesarios para la comprensión del cliente. <p>Pasar todos los documentos generados por el equipo de ingeniería a control de calidad. Los ingenieros de calidad son ingenieros externos al equipo del proyecto, esta revisión se hace previa entrega al cliente.</p>
	Especificación de Instrumentación	
	Programación	
Programación	<p>Paralelamente se inicia el desarrollo del software que se diseñó para el sistema de control (documento descripción el sistema de control). Se recomienda el diseño por módulos y utilizar un test de verificación. Un módulo es una rutina específica que opera independiente para un dispositivo o para un control. El test no es estándar, es desarrollado por cada programador.</p>	
Fabricación	<p>En paralelo al desarrollo del software y una vez se han aprobado los planos, estos son entregados al departamento de fabricación. El encargado del proyecto se reúne con el gerente de fabricación discuten el proyecto, presupuesto, diagramas, entre otros. Cualquier cambio debe marcarse sobre los planos. Una vez terminada la construcción se entrega al gerente del proyecto los cambios y pasan a revisión.</p>	
Chequeo de panel	<p>Una vez se ha terminado la fabricación se realiza un chequeo de la calidad y operatividad, cableados, etiquetas, equipos, instrumentos y fuentes de alimentación. Después de verificar que el panel está listo y que el software se ha desarrollado, al panel se le realizan pruebas FAT (Factory Acceptance Test, pruebas de aceptación en fábrica).</p>	
Sistema de Pruebas	<p>Se realizan las pruebas FAT donde se verifica la operación del panel con el software, se simulan entradas y salidas al panel de control desde el software. Estas pruebas se realizan con el cliente y se firma un documento, en el cual el cliente acepta el funcionamiento del sistema. Una vez se ha completado el FAT el panel es entregado para instalar en el sitio de trabajo.</p>	

Tabla 4 (Continuación)

Actividades	Descripción
Instalación en campo	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio de la fase de construcción. • El equipo de construcción hace parte del equipo de instalación. • En esta fase se realiza la instalación de conductos, cableado, instalación de instrumentos, etiquetas finales. • Todos los eventos son reportados al encargado del proyecto.
Calibración	<p>Una vez se termina la instalación se realizan las siguientes actividades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chequear la instalación de los lazos de control. • Verificar la conectividad y funcionalidad de los lazos. • El técnico de instrumentación realiza la inspección de los instrumentos (instalación, localización, etiquetas, P&ID). • Simular señales para verificar la instalación. • Entregar formatos de chequeo al encargado del proyecto. • Calibrar instrumentos como transmisores de nivel, escalas, entre otros. • GMP (Good Manufacturing Practice, buenas prácticas de manufactura) requiere que no solamente se calibre el instrumento, también el transmisor y el controlador.
Chequeo de lazos	<ul style="list-style-type: none"> • Es la misma prueba del FAT pero se realiza en el sitio de trabajo. • Las pruebas se realizan, no simuladas como en el FAT, sino con las entradas y salidas de los instrumentos reales. • El SAT (Site Acceptance Test, pruebas de aceptación en sitio), entrega la información de que lo implementado funciona como fue diseñado.
Puesta en marcha	<p>La planta se pone en funcionamiento, integrando paso a paso cada subsistema, se utilizan los ingredientes reales del proceso, y se realizan los ajustes finos de los lazos de control.</p>
Entrega	<p>Se realiza la entrega de los siguientes documentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción del diseño del software, planos, formatos de chequeo, chequeos de lazo, formatos de calibración, chequeo de panel, FAT y SAT, P&ID, licencias de software, reservas de programas, manuales de equipos, certificaciones y garantías.

Fuente Elaboración propia, junio de 2010

Además de los modelos presentados, se toma como referencia la metodología para la gestión de proyectos de una empresa de automatización de la región, ésta es utilizada por la empresa con el fin de brindar una guía a sus ingenieros, que garantice el correcto desarrollo y el cumplimiento de los objetivos planteados. La metodología se basa en los estándares del Instituto de Gestión de Proyectos (PMI) mundialmente conocidos y aceptados como es el caso del PMBOK (IEEE Std 1490-2003).

La metodología pretende ajustarse a las necesidades de cada proyecto, por tal razón en sus apartes da recomendaciones sobre cómo deben realizarse tales modificaciones y que parámetros se deben cumplir. Para la planeación de sus proyectos maneja aspectos fundamentales como la gestión de riesgos, gestión de cambios, control y cierre del proyecto.²La metodología referenciada no se presenta en el documento con el fin de reservar su información, pero el análisis de sus contenidos es incluido en la siguiente unidad.

1.3 COMPARACIÓN DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN

Con el fin de observar las ventajas y debilidades se compararon y analizaron los diferentes modelos de planeación expuestos anteriormente. El primer modelo se presenta como una metodología aplicable a cualquier campo de la ciencia, es interesante poder ver las ventajas y falencias que este tipo de modelo ofrece para un campo como la ingeniería en automática industrial. Las siguientes dos metodologías son usadas en el campo académico y por lo general se emplean en condiciones ideales, los dos últimos modelos que se analizarán son usados por empresas dedicadas a la automatización de procesos industriales para llevar a cabo sus proyectos.

La escogencia de estas metodologías se realizó con el fin de establecer una caracterización adecuada entre modelos usados tanto en el campo académico como en la práctica. Y además observar las diferencias entre modelos genéricos y modelos especializados en el campo de la automatización industrial.

El análisis de los diferentes modelos se realiza a partir de aspectos que se evidencian en la mayoría de procesos de planeación y características especiales que se consideran deben estar incluidas. La comparación de dichos modelos se realiza a en la tabla 5.

² A petición de la empresa se reserva la fuente de la información así mismo como el nombre de la misma.

Tabla 5 Comparación de modelos de planeación

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Conocimiento de la empresa	Como actividad inicial, define cuál es la razón de ser de la empresa, mediante la misión de la misma, buscando que el plan se ajuste a las necesidades de la empresa.	Se recopila información relacionada con la empresa del producto al cual va orientada la automatización	Se realiza un diagnóstico de la empresa con el fin de entender a la misma, el objetivo de la planta, su estructura organizativa y el proceso productivo.	No se tiene en cuenta	Esta labor la debe desarrollar el departamento de ventas, la cual se encarga de la búsqueda de los clientes. No se referencia la forma en la que se hace.	No se realiza ninguna labor que permita conocer la empresa y su naturaleza, la metodología esta enfocada principalmente en resolver el problema técnico.
Identificación de la necesidad	No se tiene en cuenta.	La necesidad parte del desarrollo de la ingeniería del producto, donde se definen los requerimientos de automatización de acuerdo al producto.	De manera tácita se obtienen a partir del diagnóstico de la empresa y del estudio de factibilidad.	Este tipo de proyectos parte de identificar la necesidad que se desea suplir, no necesariamente se trata de desarrollar una solución de automatización	Esta labor es realizada por el departamento de ventas encargada de conocer lo que el cliente necesita. No se especifican métodos para conocer dicha necesidad.	La necesidad la define el cliente mediante licitación. Se realizan visitas a la planta con el fin identificar plenamente la necesidad.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay- Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Establecimiento de límites y alcance	Al definir los objetivos que se desean alcanzar mediante el plan quedan implícitos los límites y el alcance del plan.	Se establece la definición de los límites como una etapa dentro de la ingeniería básica.	No se establece claramente, sin embargo se realiza un serie de actividades a través de las fases de tal forma que el plan estratégico este diseñado a la medida de las requerimientos de la empresa	No se especifica una etapa o un paso para esta tarea, queda implícito en la declaración de los objetivos.	No se establece claramente en el modelo la forma en la que se fijan los límites del proyecto.	En este punto se delimita el objeto del servicio, los entregables técnicos, de documentación, de capacitación, entre otros. Previo al desarrollo del diseño especifica al cliente, los alcances del servicio y los compromisos de las partes.
Definición de objetivos	Se fijan como las metas que se desean alcanzar establece algunas reglas para su definición.	No se establecen con claridad.	No se definen. La metodología limita su uso a la automatización integral de la empresa por tanto su objetivo es fijo en este aspecto	Define un paso para la definición de los objetivos. No especifica las características de los mismos	No se definen claramente	Se plantean y se concuerdan en reuniones con los directivos de la empresa y el área comercial y se consignan en un documento final, se entregan al área de proyectos. Los objetivos se elaboran en función del resultado esperado. En esta parte no se define una estructura general para la redacción de los objetivos.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Estrategias para el cumplimiento de los objetivos	Define políticas, programas, procedimientos y presupuestos, mediante los cuales se busca alcanzar los objetivos y traza una clara diferencia entre cada uno de ellos	Mediante una serie de actividades se espera llegar al logro de los objetivos, pero no define claramente las estrategias en las cuales estarán divididas dichas actividades.	Todas las actividades incluidas dentro de la metodología se consideran estrategias para el cumplimiento del objetivo que tiene la misma.	Establece actividades para el logro de los objetivos, mas no define ningún tipo de estrategia.	Deja implícitas las estrategias que cada departamento adopta para llevar a cabo las diferentes actividades del proyecto, pero no las define con claridad.	La principal estrategia es realizar constantes evaluaciones, al proyecto comparando los resultados con los compromisos establecidos con el cliente.
Propuestas de solución	No se tiene en cuenta	Se realiza implícitamente después de realizar la ingeniería básica. Pero queda implícito el hecho de generar solo una solución	La propuesta de solución es realizada en la fase de ingeniería del detalle donde a partir de la fase 1 y 2 se obtiene una serie de especificaciones del sistema.	Queda implícito el hecho de generar una única solución y trabajar todo el proyecto con base en esa propuesta.	No se especifica si se generan una o varias soluciones.	Se genera una única solución, la empresa desarrolla sus proyectos con marcas específicas. Por tanto la selección de dispositivos se hará de acuerdo a las necesidades del proceso y de los usuarios ajustándose a las prestaciones de la marca usada por la empresa.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Selección de la solución	No se tiene en cuenta	No se establecen criterios de selección	Se crea una sola solución a partir del estudio de factibilidad y el diagnóstico de la empresa.	No se establecen criterios de selección	No se establecen criterios de selección	No existe una selección de una solución, se trabaja con una sola idea desde el principio, la cual se va puliendo a medida de que se desarrolle el proyecto. La selección de los dispositivos a utilizar no se detalla en el documento, se encuentra implícito en la realización del proyecto.
Documentación y detalle de la solución	No se tiene en cuenta	Esta metodología elabora una muy completa y detallada documentación, tanto del proceso que se desea automatizar como de la solución que se plantea. No se especifica la documentación final que se debe entregar al cliente.	Se elabora durante toda la fase de ingeniería del detalle	Se elaboran planos, pliegos de condiciones, estudios económicos, licencias, entre otros documentos. No se especifican los documentos entregados al usuario final.	En las diferentes etapas de entregas y reuniones realizadas con el cliente, se establecen los documentos que deben ser entregados. Los ingenieros de diseño de software y hardware deben entregar planos detallados del sistema que se desea implementar.	A través de la ejecución del proyecto se generan documentos que de acuerdo a lo delimitado en los alcances se entregan al cliente. Se deja por escrito que información se debe entregar. También se documenta toda modificación que se le realice al proyecto.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Capacitación del personal	No se especifica.	En la fase de puesta en marcha existe una actividad de entrenamiento operativo para la operación del sistema.	Si lo considera en el proceso de su última fase luego de la escogencia del escenario y el establecimiento del organigrama de la empresa.	No se incluye.	No se especifica.	En el alcance del proyecto se definen: horas dedicadas, tema, profundidad, a documentación escrita a utilizar (si aplica), recursos técnicos, licencias, instalaciones y todos los recursos logísticos, así como los responsables de proporcionarlos.
Documentación de entrega	No se especifica.	Al finalizar de la puesta en marcha se genera un documento que incluye: Planos, Manuales de Operación, Registros de arranque entre otros.	No se especifica que documentación se debe entregar al finalizar el proyecto.	Se genera documentos relacionados con planos, mediciones, presupuestos, pliego de condiciones. Queda implícito que los documentos se entregan al cliente.	Se entrega un paquete de documentos recopilados durante la vida del proyecto y manuales de equipos. Entre estos documentos están Diagramas, Planos Eléctricos, Back ups del software, garantías entre otros.	Se hace entrega el documento de diseño con sus especificaciones de diseño, programación y funcionamiento final (As Built), Manuales de operación, Planos y todo tipo de documento que sea requerido y acordado junto con el cliente.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Puesta en Marcha	No se tiene en cuenta.	Es la última fase en este modelo en esta se incluyen actividades tales como la sintonía de los lazos, probar controladores en automático y manual, etc. Se realiza paso a paso hasta integrar cada una de las etapas, y se comprueba que al final el sistema funcione como se espera.	En la fase de implantación, la metodología establece los mecanismos de planificación y seguimiento de puesta en marcha del sistema integrado	No se define en este modelo.	Hace parte de la fase 20 de la metodología, la planta se pone en funcionamiento integrando paso a paso casa sub sistema utilizando las materias primas reales usadas en el proceso y realizando ajustes finos de los lazos de control.	Se hace en varias etapas realizando cierres de las diferentes áreas involucradas en el desarrollo del proyecto. El área técnica es la primera en cerrar el proyecto, al hacer este cierre se entregan los documentos establecidos en el alcance del proyecto y se entrega el proyecto a satisfacción del cliente.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Programación de la instalación	Al ser una metodología abierta para ser usada para cualquier caso de planeación, no necesariamente en la industria y el montaje de procesos industriales, no establecen actividades específicas para realizar actividades de este tipo.	Se realiza en la etapa de ingeniería de detalle, tras una serie de tareas que permiten generar los documentos necesarios para la instalación (planos del montaje, diagrama P&ID, diagrama de conexiones, etc.) con esta información se organiza un cronograma de las actividades a desarrollar para la instalación.	En la última fase correspondiente a la elaboración del plan de implementación se realiza un cronograma donde se deben priorizar las necesidades y realizar un cronograma de actividades a cumplir para realizar la implantación.	No se especifica programación de la instalación, en el modelo, solo se establece que la última fase incluye la instalación y el control, más no se indica cómo se deben llevar a cabo las actividades mediante las cuales se programe la instalación de los equipos.	Se realiza una programación inicial de todo el proyecto en la reunión clave entre el departamento de ventas y el director del proyecto, luego en la fase de instalación se hace una reunión previa a la instalación en campo entre el Director del proyecto, el Director de la construcción y el jefe de planta para discutir el cronograma de instalación y realizarle ajustes. No establece las actividades mediante las cuales se diseña el programa.	Después de revisar, ajustar y describir cada una de las tareas e hitos del proyecto necesarios para cumplir con los requerimientos organizacionales y del cliente, se procede con la asignación de fechas dentro del cronograma general, donde se deben tener en cuenta el cronograma de los contratistas, cronograma de gestión del riesgo entre otros.

Tabla 5 (Continuación)

Modelo Criterio	Henry Mitzenberg	Programa Ingeniería en Automática industrial	Metodología para la automatización integrada	Desarrollo de sistemas industriales	Gestión de proyectos Bay-Tec Engineering	Gestión de proyectos empresa local
Pruebas del sistema	No se tiene en cuenta.	Se realiza un pre comisionamiento donde se hacen pruebas de campo para verificar errores en el sistema, luego se realiza el comisionamiento que consiste en validar lazos control, instrumentos, entre otros.	No se definen	No se especifica en ninguna fase.	Son realizadas cuando la fase de instalación este completa. Se realiza verificación de lazos, inspección de instrumentos, chequeo de señales, entre otras. Después de la calibración se realiza una prueba de aceptación en sitio es la misma FAT (test de aceptación de fábrica) pero con señales reales no simuladas e indica si el sistema funciona tal como fue diseñado	Se realizan pruebas FAT, en este tipo de pruebas se trata de simular el ambiente de planta y se verifica que el desarrollo y el diseño satisfagan los requisitos del cliente. Las pruebas en el sitio en donde se instalara el sistema de automatización denominadas SAT sirven para validar si el diseño y desarrollo satisfacen los requisitos de cliente en ambiente real. Estas pruebas se realizan en presencia del cliente y se entregan los resultados de dichas pruebas en formatos desarrollados por los ingenieros de la empresa.

Fuente: Elaboración Propia, junio de 2010

Tanto en el modelo genérico como en los especializados para el área de ingeniería, se aprecia que todos han sido diseñados para realizar los proyectos sin tener en cuenta el estado inicial del proceso. Se observa que las metodologías expuestas no consideran o consideran poco importante conocer la empresa para la que van a desarrollar la solución de automatización, se hace un estudio muy superficial sobre este aspecto, no se incluyen factores claves de la empresa como: su organización, el producto que se fabrica, su relación con los entes externos a ella como proveedores y distribuidores, enfocándose únicamente al proceso productivo en la parte netamente técnica.

Cuando se adelantan tareas que permiten llevar a cabo el conocimiento del proceso productivo no se tiene en cuenta una fuente de conocimiento tan amplia como la que poseen operarios, jefes de planta e ingenieros, son ellos los que interactúan a diario con el proceso productivo. Un punto a favor de la metodología de Mitzenberg en este aspecto (o etapa) es que identifica la razón de la empresa, o sea su misión y visión, procurando que el plan se ajuste a las necesidades de la empresa.

Conocer a profundidad tanto la empresa como sus procesos productivos, es significativo al momento de realizar adecuaciones o cambios en los procesos de fabricación ya establecidos y muchas actividades deben tener en cuenta condiciones especiales de funcionamiento u operación durante cualquiera de las fases del proyecto de automatización, así como al momento de su implementación, por ejemplo, no en todos los casos es posible hacer paradas prolongadas, esa condición debe ser tenida en cuenta para realizar la planeación de la instalación.

Cuando se busca establecer la necesidad que tiene el cliente, cuatro de las cinco metodologías tienen en cuenta este factor aunque sea de manera implícita. Esta actividad es fundamental, por que una buena definición de la necesidad enmarca claramente lo que el cliente desea lograr mediante la automatización de su proceso y brinda al ingeniero un esbozo de lo que se va a realizar. La metodología de la empresa local amplía el conocimiento de la necesidad del cliente a través de visitas a la planta, mediante las cuales se lleva a mayor profundidad este aspecto.

La definición de los objetivos reflejan los resultados esperados, de ahí la trascendencia que tiene su inclusión dentro de un proceso de planeación, aun así tan solo dos de las metodologías comparadas fijan un paso dedicado únicamente a su establecimiento, cuatro de las cinco metodologías expuestas incluyen los límites y el alcance del proyecto en los objetivos, lo cual puede generar confusiones entre los involucrados en el desarrollo del proyecto. La metodología de la empresa local incluye delimitar el alcance del proyecto en una reunión conjunta con los encargados del proyecto por parte del cliente diferenciando con claridad los objetivos perseguidos con el desarrollo del proyecto. Ninguna aporta un método o unas reglas claras para elaborar los objetivos o cual debe ser su contenido.

Variar o alterar drásticamente los procesos, haciendo que toda la empresa se adapte a la solución de automatización no es una buena opción, lo ideal es brindar una solución que se adapte a las necesidades de la empresa. Este es un propósito a tener en cuenta al momento de idear cualquier solución de automatización, el mismo propósito debe tenerse en cuenta para el plan de implementación. Por tal razón cualquier solución o plan, debe acoplarse a la misión y colaborar con el cumplimiento de la visión de la empresa. Cuando esta condición no se cumple, las modificaciones en los procesos causan molestias al interior de las organizaciones provocando mayores problemas que los que se quería solucionar en un principio.

Algunas de las metodologías analizadas en el presente trabajo se enfocan en las actividades sin tener en cuenta para nada quienes son los responsables, o bien enfatizan las responsabilidades del equipo de trabajo y las tareas o actividades no se especifican con el grado de detalle que se requiere para realizar un plan de implementación de un proyecto de automatización industrial.

El conocimiento que tengan los usuarios de cualquier sistema industrial es sumamente importante, porque de ellos dependerá después de la entrega el buen funcionamiento del sistema. Se hace necesario brindar capacitación adecuada a todo el personal involucrado en el manejo, montaje y mantenimiento del sistema, para que una vez el sistema esté operando no se sufran paradas o averías graves que entorpezcan el desarrollo de la producción de la empresa. A pesar de ser una actividad muy relevante

tan solo dos de las metodologías expuestas tienen en cuenta el desarrollo de actividades de este tipo, mas solo se tiene en cuenta este factor al finalizar el proyecto.

Escoger entre varias opciones es determinante para brindar la mejor solución de automatización a una empresa, entre los criterios para seleccionarla se deben tener en cuenta los costos de las diferentes soluciones, la facilidad de mantenimiento del sistema una vez instalado, el soporte post-venta y garantía que tengan todas las partes del sistema entre otras características. Pero para realizar tal análisis, es necesario conocer muy bien las expectativas del proceso productivo una vez este automatizado, las posibilidades económicas y el nivel de automatización que se desea lograr.

Ninguno de los modelos expuestos evidencia claramente una metodología mediante la cual se establezcan criterios para la selección de soluciones ni se menciona la importancia que tienen para el proceso de planeación, debido a que las metodologías no consideran el hecho de tener varias propuestas de solución. Por tanto es importante tener en cuenta que si se van a tener varias propuestas de solución es necesario contar con una forma de escoger la solución que mejor se adapte a las necesidades de la empresa.

Una de las etapas que más importancia tiene para el plan de implementación es la programación de la instalación, tres de las metodologías analizadas presentan etapas para este criterio, en el caso de la metodología usada en el programa de ingeniería en automática industrial se definen algunas tareas usadas en esta actividad, pero al no emplear esta parte de la metodología en el desarrollo de la materia, no se especifican claramente dichas tareas. La metodología usada por la empresa Bay-Tec Engineering, define responsables para estas labores y dispone una serie de reuniones entre los miembros involucrados en el desarrollo del proyecto, en las cuales se programan dichas actividades, más el modelo no brinda la información suficiente sobre dichas tareas a programar. La metodología empleada por la empresa local refiere también buena parte de esta para referirse a la programación de la instalación.

Se puede concluir que los modelos analizados presentan ventajas y falencias cuando de llevar a cabo un proceso de planeación se trata, aun en los casos que se estudiaron relacionados con el área de ingeniería donde se esperaría un alto grado de detalle, quedan muchos supuestos y vacíos de cómo realizar algunas de las actividades relacionadas con la planeación de proyectos de ingeniería. Como se comentó al inicio del análisis para realizar el plan de implementación de automatización industrial aplicado a la planta de tratamiento El Tablazo del Acueducto de Popayán, se tomarán como base de las actividades los aspectos bajo los cuales se evaluaron los diferentes procesos de planeación, usando las mejores partes de cada modelo y se enriquecerán las que se considere necesario.

1.4 ANÁLISIS DE UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN EN UN ACUEDUCTO

Durante el desarrollo del presente trabajo se realizó una visita técnica a la planta de tratamiento de agua potable de la empresa Central Aguas de la ciudad de Tuluá en el Valle del Cauca, con el fin de indagar acerca de su experiencia en la implementación de un sistema de automatización, instalado en la planta de tratamiento y su relación con algún modelo de planeación, así como los problemas que se presentaron durante su desarrollo. Todo esto con el fin de poder aumentar las referencias y recabar información para el diseño del plan de implementación propuesto.

La automatización de la planta es un proceso que se viene realizando desde aproximadamente hace ocho años, por parte de los empleados de la planta y a cargo del jefe de producción, quien ha sido el Director del proyecto y decide cuáles deben ser las necesidades a solventar por medio de sistemas de automatización.

Para llevar a cabo este proceso se realizó un diseño de la automatización de la planta y se solucionó por partes las necesidades más apremiantes. Los criterios para decidir el orden de la implementación fueron básicamente mejorar la eficiencia de la planta y la disponibilidad de recursos económicos.

La principal necesidad de la planta era tener supervisión de las variables de control, por eso inicialmente se midieron: el nivel de los tanques de almacenamiento, el caudal, el pH y la turbidez estas últimas medidas a la entrada de la planta. Con el tiempo se incluyeron medidas de otras variables como la turbidez a la salida de la planta, cantidad de cloro residual y conductividad, estas variables sirven para medir la calidad del agua.

Uno de los logros más interesantes de este proyecto de automatización es la creación de un sistema de adición de floculantes totalmente automatizado, desarrollado por los encargados del proyecto usando los reportes históricos de la planta, obtenidos anteriormente de manera manual. La automatización de esta parte del proceso se vende como solución a otras empresas dedicadas a la potabilización de agua.

Al haber sido un proceso desarrollado por el mismo personal de la planta no se llevaron a cabo procesos de capacitación posterior a la implementación y se evidencia carencias en la planeación de la automatización de la planta, pues no existen muchos de los rasgos característicos de un sistema que lleve paso a paso dicho proceso.

Conclusiones capítulo 1.

Éste trabajo busca desarrollar un plan en el cual se identifiquen y especifiquen claramente tanto las actividades, los responsables y sus tareas, así como los tiempos y los recursos necesarios para su ejecución. Como se evidencia en el análisis de los modelos de planeación, muchos de ellos omiten alguno de estos aspectos, por lo general se enfocan en la definición de las actividades, por lo cual aspectos relevantes en la implementación de un proyecto de automatización industrial quedarían supeditados a la improvisación, indeseable en este tipo de actividades.

El análisis de las diferentes metodologías de planeación y de la automatización de la planta de tratamiento del acueducto de Tuluá, se usó con el fin de obtener un modelo que satisfaga adecuadamente las necesidades de planeación para un proyecto de automatización industrial referido al caso de la planta de potabilización de agua en la

planta El Tablazo, las fortalezas de cada metodología serán recogidas y algunos de los aspectos exitosos se adaptaran al diseño del plan mencionado

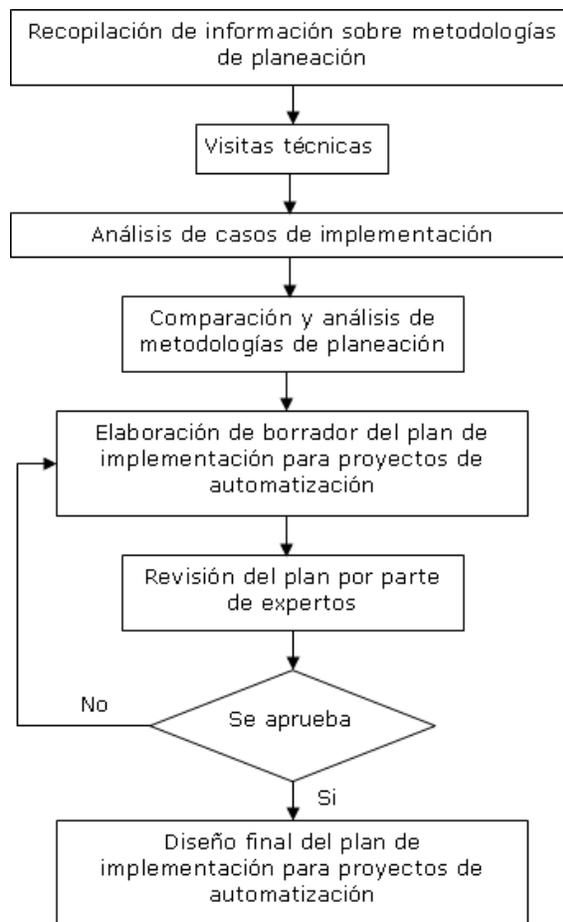
La disponibilidad de recursos económicos limita la efectiva ejecución de los proyectos de automatización industrial, esta característica se evidencia en la automatización de la planta de tratamiento del acueducto de Tuluá, que a pesar de tener identificadas las necesidades de automatización, la falta de recursos económicos hace que se retrase la implementación de la solución. En casos similares al anterior, el conocimiento de la empresa y los factores internos que inciden en la implementación de la automatización de la planta no se tienen muy en cuenta, ya que el personal que desarrolla estas actividades tiene conocimiento de ellas y no consideran necesario documentarlas, resolver problemas de la parte técnica y operativa del proyecto son características mas relevantes cuando estos procesos son realizados por personal interno.

A pesar de que los modelos referidos en el presente capítulo son realizados por personas expertas en temas relacionados con planeación se dejan por fuera características relevantes en procesos de planeación ejecutados en el área de la ingeniería en automática industrial. Para el caso del presente trabajo se contará con la colaboración y aportes de ingenieros que desarrollan proyectos de este tipo en diferentes campos de la industria y de la academia, que con su experiencia enriquecerán el diseño del plan propuesto.

2 PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PARA UN PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Para la elaboración de la propuesta del plan de implementación para proyectos de automatización industrial se siguió una serie de pasos para el desarrollo de la misma, en la figura 7 se esquematiza este proceso.

Figura 7 Proceso para la elaboración del plan de implementación propuesto.



Fuente: elaboración propia, agosto de 2010.

Para la construcción de las principales etapas del plan se tienen en cuenta los aspectos bajo los cuales se evaluaron los diseños de planeación revisados en el capítulo anterior, tomando los mejores aspectos de cada una de las metodologías estudiadas, mejorando sus falencias e incluyendo información nueva que se considera imprescindible en el diseño de este tipo de planes.

Se toma como referencia el proceso de automatización desarrollado en la planta de tratamiento de agua potable de Tuluá, la cual tiene capacidad y procesos similares a los de la planta El Tablazo. En dicha planta se desarrolló un proyecto de automatización del proceso de potabilización, la información referente a su proceso de planeación se consigna en el primer capítulo y tanto la parte técnica como la parte de planeación se toma como base para el diseño del presente plan.

Es muy importante tomar en cuenta los resultados y experiencias obtenidas en casos similares, este aspecto es clave en la elaboración de este tipo de planes en empresas dedicadas a la automatización de procesos industriales, ahorra trabajo y suministra ideas acerca de cómo enfrentar los problemas. Dicho aspecto se tiene en cuenta por recomendación de ingenieros expertos en la implementación de este tipo de proyectos.

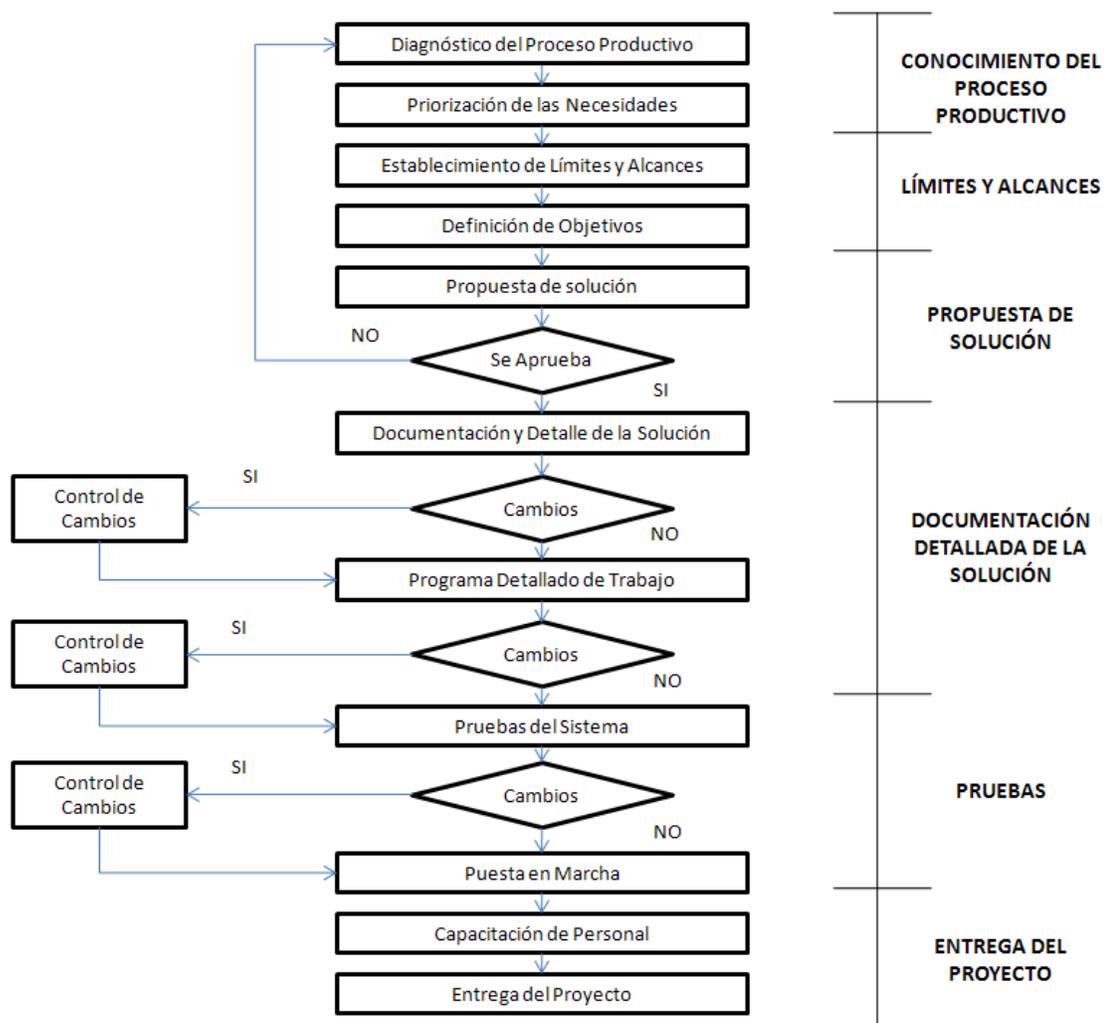
Uno de los aspectos más importantes con los cuales se diseñará el plan de implementación sugerido en el presente trabajo, es la colaboración de ingenieros expertos en la implementación de proyectos de automatización industrial. Estas personas colaboraron mediante sus aportes a nutrir el diseño del plan a través de su experiencia en la industria. Marcando una gran diferencia con respecto a planes anteriormente diseñados, ya que las personas consultadas pertenecen a diferentes campos de la automatización y su colaboración estuvo presente en cada una de las etapas del plan.

Las etapas se dividirán a su vez en fases, que incluirán además de las actividades a realizar, información concerniente a los responsables de su cumplimiento, los tiempos estimados para la realización y los recursos que se deban emplear para la realización del proyecto.

Además de los aspectos mencionados se darán una serie de recomendaciones respecto a la elaboración de algunos de los documentos del mismo, al evaluar los diferentes modelos de planeación, se observó que en muchas ocasiones no se cuenta con una guía clara cuando se deben desarrollar los documentos propuestos.

En la figura 8 se muestra un diagrama de flujo en el cual están todas las fases y las etapas que componen el plan de implementación propuesto, con el orden sugerido para desarrollarlo, y a continuación se describe su contenido

Figura 8 Diagrama de fases y etapas del plan para la implementación de proyectos de automatización industrial



Fuente: Elaboración propia, Noviembre de 2010

2.1 DESARROLLO DEL PLAN

2.1.1 Etapa I Conocimiento del proceso productivo

Antes de iniciar el proceso de automatización de la empresa, es necesario considerar la complejidad del proceso de producción, la tecnología de la planta, los recursos humanos y la visión de la organización referente a que se espera de un proceso de automatización, con el fin de definir cuales son las necesidades de la empresa, entender su funcionamiento, el objetivo de la planta, su estructura organizativa y el proceso de producción.[1]

Mediante el conocimiento de la empresa, se busca obtener herramientas que permitan determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto, además de ajustarlo a lo que realmente necesita la empresa. Se tiene entre las principales fuentes de información los operarios, jefes de planta e ingenieros asociados al proceso productivo, personas que están involucradas y conocen el funcionamiento detallado de la planta o del proceso.

El responsable de llevar a cabo esta etapa es el encargado del proyecto, es decir la empresa o persona externa que dirige la implementación de la solución de automatización, a través de las personas que disponga, debe contar además con la colaboración de un encargado interno de la empresa objeto de la automatización, cuya tarea será facilitar la información necesaria para el desarrollo del proyecto.

En el caso que el proyecto se realice por parte de personas vinculadas a la empresa que requiere la automatización, se pueden obviar actividades como la recolección de información su posterior modelado y análisis pasando directamente a la siguiente etapa de la definición de metas y alcance.

2.1.1.1 Fase 1 Diagnóstico del proceso productivo

Para conocer el estado actual del proceso productivo y las expectativas sobre el proyecto que se desea realizar, se propone realizar un diagnóstico del mismo con el fin de conocer y visualizar su estado antes de iniciar el proceso de automatización.

Para realizarlo se sugieren las siguientes actividades:

- Recolectar información del proceso productivo
- Modelar el proceso productivo.
- Analizar información y modelos.
- Recolectar información sobre necesidades específicas.

Para su realización, se sugieren tres fuentes de información y el orden en el que se deben consultar.

- **Información suministrada o consultada** el cliente ofrecerá la documentación que requieran los diseñadores del proyecto correspondiente a su organización, como planos, esquemas de operación, manuales de operación, entre otros.
- **Reuniones con personal de la empresa:** las entrevistas con el personal de la planta tienen la intención de detallar con amplitud el funcionamiento de la planta y en especial del sector donde se desea realizar la automatización. En el caso de personal administrativo ellos brindarán información acerca de cómo se llevan a cabo las operaciones en la empresa. Además de conocer las expectativas que se tengan sobre el sistema implementar.
- **Levantamiento de información en planta:** se trata de la realización de visitas a la planta, que mediante la observación del proceso productivo y de su entorno permitan conocer detalles que mediante las fuentes anteriores no fueron tenidos en cuenta y son importantes para el proyecto y el plan de implementación.

A continuación se describirá cada una de las actividades mencionadas y sus diferentes contenidos.

Recolectar información del proceso productivo: mediante esta actividad se espera obtener la información que permita conocer el sistema de producción, detalles de su funcionamiento y operación de la planta entre otros aspectos. En la tabla 6 se lista la información que se debe recolectar así como algunos recursos de los cuales se puede extraer.

Tabla 6 Información a recolectar

Información	Descripción	Recursos
Personal de Planta Encargado	Que Personas trabajan en la planta y que rol desempeñan dentro de la misma, también es necesario reconocer cual es la jerarquía que se maneja y cuál es su interacción (manejo de información, de órdenes de trabajo, etc.) con el demás personal y el proceso productivo.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Listados de empleados ✓ Bases de datos con información de los empleados. ✓ Organigrama de la empresa
Descripción de la empresa	Descripción muy general de la empresa y de la planta en la cual se intervendrá	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Actas de constitución
Misión y visión de la empresa	Saber cuál es la razón de la empresa y como se proyecta a futuro.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manuales organizacionales
Políticas de la empresa	Conocer que condicionamientos tiene sobre su accionar y el de sus empleados.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manuales organizaciones
Entes externos	Qué personas u organizaciones están involucradas con la empresa y qué interacción tienen con ésta. Estado (leyes, restricciones, impuestos, etc.), proveedores (fechas de entrega o recepción de materiales, manejo de calidad de material recibido), distribuidores (fechas de entrega, cantidades,...), cliente, entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Bases de datos de proveedores, distribuidores. ✓ Normatividad que afecte la empresa y sus labores.
Capacidad y demanda de la planta	Definir la capacidad efectiva, diseñada y actual.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Base de datos de producción. ✓ Informes de capacidad.

Tabla 6 (Continuación)

Información	Descripción	Recursos
Descripción del proceso	Definir cuál es el proceso productivo, de que etapas está compuesto, secuencias de control y de operación, formulas, composiciones, métodos y procedimientos de gestión de la producción.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manuales de operación ✓ Planos. ✓ Inventarios.
Definición del tipo de proceso	Clasificar el proceso en continuo, batch, discreto o una combinación de estos según la definición de la norma ISA88 parte 1.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manuales de operación ✓ Planos
Descripción de equipos implicados en el proyecto	Información del funcionamiento de equipos instalados en planta, identificar el tipo de a entradas y salidas. Definir la infraestructura informática del proceso productivo. Redes de comunicación, eléctricas, neumáticas hidráulicas entre otras.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Inventarios. ✓ Planos, eléctricos, mecánicos, hidráulicos, neumáticos.
Nivel de Automatización	Recoger información de anteriores implementaciones de automatización que se hayan realizado a la planta y observar que procedimientos se realizan manual o automáticamente. Definir la infraestructura de instrumentación, control, comunicaciones, protocolos y sistemas de supervisión. Recolectar información acerca de los sistemas software existentes en la planta.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Manuales de operación. ✓ Planos.

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

Modelar el proceso productivo: con el fin de poder esquematizar la información recogida de una forma ordenada y práctica, se aconseja el uso de modelos que faciliten observar la constitución del proceso productivo, en cuanto a las actividades que se realizan para llevarlo a cabo, la disposición de los equipos y su interacción, así como cuáles son las acciones de control efectuadas para el manejo del sistema de producción.

A continuación se realizará una breve explicación de los modelos recomendados así como su utilidad.

Diagrama de Bloques. Constituye una representación sencilla del proceso productivo, mediante rectángulos que representan cada operación unitaria a la materia prima. Los Rectángulos o bloques se unen entre sí mediante flechas que indican la secuencia de las operaciones, ofreciendo una metodología sencilla y práctica para observar la secuencia de las operaciones, el ingreso de materias primas e insumos.

Modelos ISA 88. La aplicación del estándar ISA88 se ha realizado en el modelado de procesos de producción. Es el caso de una central azucarera ubicada en Venezuela donde se ha realizado su aplicación, arrojando muy buenos resultados en el diagnóstico de la empresa, establecimiento de características de producción y en la especificación formal de procedimientos y métodos de producción [6]

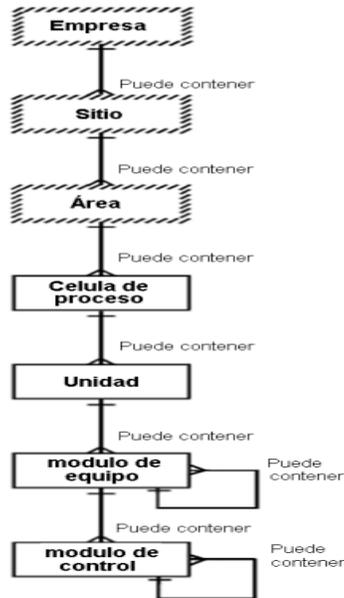
Debido a sus antecedentes y a la aceptación que ha tenido mundialmente, los modelos físico, de control de procedimientos y de proceso que hacen parte del estándar ISA88, se consideran para hacer parte del plan propuesto, al ser de de gran utilidad para organizar y realizar el análisis de la información, ya que ofrecen una terminología estándar además que definen buenas prácticas para el diseño, control y operación de procesos de producción.

Modelo Físico. Mediante el uso de este modelo se define una jerarquía de equipos, concretamente usados en el proceso de producción, agrupando los recursos de la empresa con referencia a siete niveles. Los tres niveles superiores se encuentran fuera del enfoque del estándar ISA88, estos niveles se soportan las decisiones corporativas de la empresa. En el estándar se jerarquizan los equipos de la empresa en términos de células, unidades, módulos de equipo y módulos de control, figura 9.

Este modelo se usará, con el fin de determinar el estado de la planta, brindando un mayor entendimiento de cómo se encuentran agrupados los equipos dentro de la misma y como están organizados jerárquicamente. Al finalizar la ejecución del

proyecto, se puede comparar el estado inicial de la planta con lo que se obtiene posteriormente a la implementación; con el objeto de realizar un análisis, de que elementos fueron movidos, y cuales fueron removidos.

Figura 9 Modelo Físico ISA S88.01



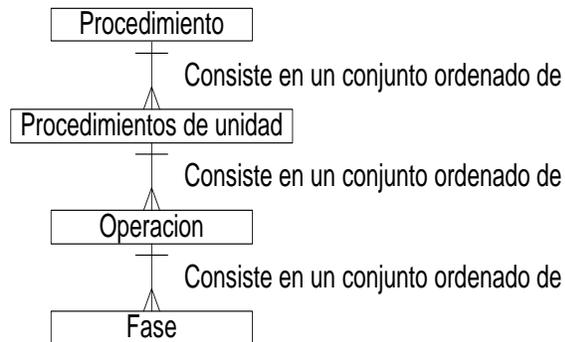
Fuente: ISA S88.01." Bath Control. Part 1: Models and Terminology". International SocietyforMeasurement and Control. 1995.

Modelo de Control de Procedimiento. Mediante este modelo se especifican las acciones que se deben ejecutar en los equipos a través de secuencias ordenadas, las cuales permiten llevar acabo una acción orientada al proceso para la obtención de un producto. Estas acciones se agrupan en estructuras que permiten modelar y especificar de manera adecuada una receta, la cual será ejecutada sobre el conjunto de equipos definidos en el modelo físico [7].

Este modelo es útil en la organización de la información de la planta, permite conocer como se clasifican las acciones en orden de importancia dentro del proceso productivo. Esto será necesario al momento de diseñar el nuevo sistema de control, éste debe respetar los lineamientos de los procedimientos del proceso.

Las acciones de control están estructuradas en niveles jerárquicos y dependiendo de su complejidad, se dividen en: procedimientos, procedimientos de unidad, operaciones y fases, que pueden estar asociados a una receta o a un equipo, esto se muestra en la figura 10.

Figura 10 Modelo de Control Procedimental ISA S88.01

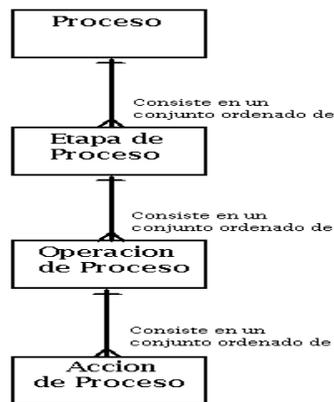


Fuentes: ISA S88.01." Bath Control. Part 1: Models and Terminology". International Society for Measurement and Control. 1995

Modelo de Proceso. El objetivo de este modelo es especificar las actividades que se llevarán a cabo en la planta y el orden en que se realizarán, asociando a cada una de estas, los equipos necesarios, ya contenidos en el modelo físico de la empresa [8]. El modelo servirá como complemento al diagrama de bloques del proceso y ayudará a la clarificación de la jerarquización de las actividades relacionadas con este, como parte de la fase de conocimiento de la empresa.

Este modelo relaciona los modelos de control procedimental y el modelo físico, obteniéndose una jerarquía compuesta por el proceso, etapas de proceso, operaciones de proceso y acciones de proceso [6] como muestra la figura 11.

Figura 11 Modelo de Proceso ISA S88.01



Fuente: ISA S88.01." Bath Control. Part 1: Models and Terminology". International Society for Measurement and Control. 1995.

Diagrama P&ID. El diagrama P&ID se utilizará como último nivel de detalle para la descripción del proceso y básicamente permite conocer que lazos de control se tienen y la instrumentación que hace parte de estos, sirve como complemento al modelo físico de la norma ISA88, que si bien muestra cómo se encuentran agrupados los equipos, su nivel de abstracción no es el suficiente para alcanzar a describir completamente la instrumentación y su interacción con el proceso.

El diagrama P&ID registra toda la instrumentación sobre el diagrama de flujo de proceso. Permiten asociar a cada elemento de medición y control un código al que comúnmente se lo denomina etiqueta del instrumento. Los símbolos y nomenclatura que utilizan en los diagramas están desarrollados en diversos estándares, pero mundialmente son de gran reconocimiento las normas S5 de la Sociedad Internacional de Automatización, ISA. Un P&ID incluye cualquier aspecto mecánico de la planta excepto la siguiente información:

- ✓ Condiciones de operación, presión y temperatura.
- ✓ Caudales de las corrientes.
- ✓ Localización de los equipos.
- ✓ Trazado de tuberías.
- ✓ Longitudes.

- ✓ Conexiones.
- ✓ Soportes, estructuras y cimentaciones.

Analizar la información y modelos: una vez se ha recogido y se ha estructurado mediante los modelos propuestos la información sugerida se realiza el análisis de la misma. Se espera que mediante el análisis de esta información los encargados del proyecto puedan presentar una propuesta ajustada a las condiciones y necesidades reales de la empresa. A continuación en la tabla 7 se describe el análisis de dicha información.

Tabla 7 Actividades para el análisis de la información

Actividad	Descripción
Definir posibilidades de reingeniería	Las nuevas tecnologías deben adaptarse a equipos y tecnologías ya existentes. De la información recogida en la etapa anterior se debe discriminar cuáles de los equipos pueden ser mejorados controlando sus procesos automáticamente.
Determinar características especiales para el muestreo	Establecer si existen reglas especiales para la medida de las variables, frecuencia de muestreo, rigurosidad de la medida, entre otros, esto debe ser tenido en cuenta para la selección de sensores, transmisores, controladores y demás elementos de control
Determinar características de comunicación	Definir cuales son las características que determinan como se realizan las comunicaciones industriales al interior de la planta, al momento de seleccionar los dispositivos estos se deben poder conectar al sistema de comunicaciones.
Definir reglas para la toma de decisiones	Cuando se realice la programación de las secuencias de control se debe definir usando la información recogida en la fase anterior, cuál debe ser el orden en que se deben tomar las decisiones. Se recomienda realizar un cuadro de jerarquía mediante el cual se visualice la información.
Listar necesidades encontradas	Se listan todas las necesidades del proceso productivo, desde el punto de vista de los encargados del proyecto de automatización.

Fuente: Elaboración propia, marzo de 2010.

Recolectar información sobre necesidades específicas: la iniciativa del proyecto nace con la identificación de una necesidad, un problema o una oportunidad de mejora por parte del cliente.

Por lo general el cliente expone su necesidad y los requisitos relacionados, en un documento denominado licitación, de no hacerlo así se recomienda utilizar un documento o formato por escrito en el cual se exprese dicha necesidad de forma clara. En proyectos pequeños por lo general la necesidad se expresa de manera menos formal mediante un correo electrónico o una sencilla solicitud escrita. Pero es importante recalcar que debe quedar por escrito lo que la empresa requiere.

La intención de pedir al cliente el exponer sus necesidades en dicho documento, es obtener de forma amplia y pormenorizada lo que se desea resolver desde su punto de vista. Con la información entregada se espera que los encargados de llevar a cabo el proyecto, entiendan con claridad lo que espera el cliente, de tal forma que se pueda presentar una propuesta que supla sus necesidades ajustándose a todas las condiciones impuestas.

Precisar y definir lo que busca la empresa al implementar una solución de automatización para un proceso productivo, es el paso inicial para establecer los parámetros de las siguientes actividades del plan.

A continuación se brindan pautas sobre lo que se debe incluir en el documento en el que se expresan las necesidades del cliente:

- ✓ Hacer una descripción de las obras que se deben realizar.
- ✓ Elaborar un listado de todos los problemas y necesidades detectadas.
- ✓ Incluir los requisitos del cliente, especificaciones y atributos deseados.
- ✓ Especificar las entregas que el cliente espera por parte de los encargados del proyecto.
- ✓ Relacionar los artículos suministrados con las especificaciones y estándares que deben cumplir.
- ✓ Expresar las características relevantes que requieran aprobaciones.
- ✓ Proporcionar instrucciones para el formato y el contenido de las propuestas.
- ✓ Señalar la fecha de vencimiento para la presentación de propuestas de solución.

- ✓ Incluir criterios de evaluación de los proponentes, entre los cuales se pueden tener en cuenta:
 - La experiencia con proyectos similares.
 - El enfoque técnico propuesto.
 - El programa.
 - Los costos.
- ✓ De ser necesario señalar el monto disponible del cliente para invertir en el proyecto.
- ✓ Señalar cuales son los objetivos generales del proyecto de automatización.
- ✓ Determinar cual debe ser el tiempo de ejecución mínimo, esperado para el proyecto de automatización.

2.1.1.2 Fase 2 Priorización de las necesidades

Una vez se ha realizado el diagnóstico del proceso productivo, éste arrojará como resultado la identificación de sus necesidades de mejora. Los involucrados con el proceso productivo son la principal fuente para determinarlas, pero recoger las inquietudes de los directivos, jefes de planta u operarios puede ser una tarea complicada y dispendiosa, por que las necesidades podrían ser diferentes y estar en contraposición unas con otras.

La experiencia de ingenieros en la industria, sugiere que es adecuado realizar una reunión donde los involucrados debatan sus necesidades se recojan por una sola persona, es decir un encargado o representante de la empresa, el cual coordine dichas actividades y entregue a los encargados de la automatización la información que estos requieran sobre las necesidades. Con el fin de determinar entre los problemas hallados en la empresa, cuáles son los más importantes desde el punto de vista de los involucrados con el proceso productivo se sugiere el uso de la matriz de criterios para determinar el orden de prioridad.

Matriz de criterios. Es una herramienta que se usa con el fin de decidir entre varias opciones cual es la más importante tomando como base un grupo de criterios que la

empresa ha determinado como los más importantes para tomar una decisión adecuada.

La elaboración de esta matriz de criterios se realizará mediante las actividades descritas en la tabla 8.

Tabla 8 Actividades para el desarrollo de la matriz de criterios

Actividad	Descripción
Listar problemas	Definir junto al encargado por la empresa, una lista de los problemas más relevantes, definidos anteriormente entre el encargado y las partes involucrados en la automatización del proceso, e indexarlos en una tabla.
Elegir criterios	Los criterios para la selección de dichos problemas se definen por parte de la empresa cliente, el encargado comunica a la empresa encargada de la automatización cuáles son los criterios mediante los cuales se determinarán los problemas más relevantes. La idea es desarrollar una matriz con una cantidad limitada de criterios, los cuales se hayan evaluado anteriormente con los involucrados en el proceso de automatización en la planta.
Elaborar matriz	Llenar la matriz con los datos que se tienen de los criterios y los problemas. La escala de calificación será de 1 a 10, siendo 1 poco importante y 10 muy importante.
Calificar los problemas	Se procede a calificar entre los entrevistados los problemas de acuerdo a cada criterio
Analizar matriz	A partir de la calificación se determinan el orden de importancia de los problemas.

Fuente: elaboración propia, julio de 2010

Partiendo de la identificación de los problemas y las necesidades más importantes mediante el diagnóstico, se sugiere el inicio de la siguiente etapa, que conllevara al establecimiento de metas y alcance. Además la información obtenida y su análisis serán la base para realizar una buena propuesta de automatización.

2.1.2 Etapa II Metas y alcance. Mediante las actividades propuestas en esta fase se busca definir las metas que se desean alcanzar, los objetivos definirán el derrotero a seguir para conseguirlas y el alcance determinará hasta donde se puede llegar para solucionar las necesidades con los recursos que se cuenta. Las dos etapas de esta fase sirven como motivación para el equipo de trabajo encargado del desarrollo del

proyecto, permitiendo enfocar los esfuerzos de todos los involucrados en la misma dirección.

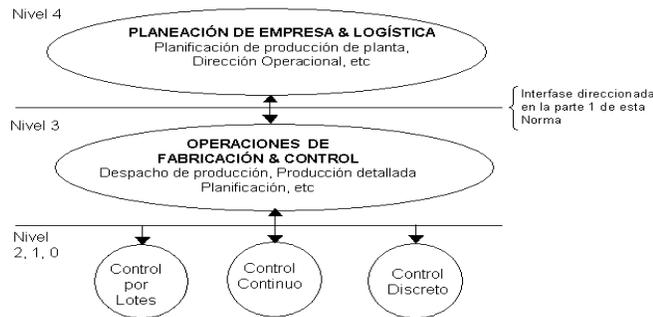
Los objetivos son muy importantes y su inclusión parece casi obligatoria, cuando se realizan procesos de evaluación y control permiten comparar los resultados obtenidos con las metas trazadas, y así medir cual fue el alcance que se obtuvo, evaluando la eficacia del proyecto.

2.1.2.1 Fase 1 Establecimiento de límites y alcance. Es declarar entre la empresa y los encargados del desarrollo del proyecto hasta dónde abarcará la solución de automatización desde el punto de vista tecnológico, presupuestal y temporal. Realizar esta actividad delimita las funciones y responsabilidades de cada una de las partes, con el fin de evitar inconvenientes y malos entendidos una vez se haga entrega del sistema de automatización.

Determinar con exactitud el tiempo y el costo de un proyecto es una tarea engorrosa, estas variables son altamente dependientes. Fijar el alcance tecnológico con precisión es muy difícil a pesar de que es la variable más controlable, pero por más recolección y análisis de la información que se haga es muy complejo llegar a precisarla totalmente. A pesar de esto una buena aproximación es útil para delimitar las funciones de los encargados del proyecto y mantenerse dentro de ciertos márgenes de tolerancia.

Para determinar el alcance tecnológico, se recomienda el uso del modelo jerárquico de programación y control que aparece en la norma ANSI/ISA 95 esquematizado en la figura 12. Éste modelo está dirigido a las empresas industriales de manufactura y divide las funciones empresariales en cinco niveles, dentro de cada uno de éstos se realizan diferentes tareas y de acuerdo a ellas se toman las correspondientes decisiones. Cada una de estas divisiones o jerarquías corresponde a una parte de la empresa. Depende de los encargados del proyecto y la empresa de manufactura definir dentro de estos niveles hasta donde se desea llegar con el proyecto de automatización.

Figura 12 Modelo Jerárquico



Fuente: S95.01. "Enterprise - Control System Integration Part 1: Models and Terminology". International Society for Measurement and Control. 1995

El alcance en cuanto a qué partes de la empresa se verán involucradas por el proyecto, se puede definir usando el estándar anteriormente mencionado, aún así se recomienda definir entre la empresa de manufactura y los encargados del proyecto un documento en el cual se especifiquen y detallen claramente las responsabilidades y alcances de la empresa y del responsable del proyecto, antes, durante y después del desarrollo del proyecto de automatización, en el mismo documento deben quedar plasmados los compromisos a los que se llegue entre las partes. También se puede incluir en el documento lo que no hará parte del proyecto. Algunas de las actividades para llevar a cabo estas tareas se muestran en la tabla 9, estas actividades se realizan de esta manera por recomendación de ingenieros encargados de proyectos de automatización en el sector industrial.

Tabla 9 Actividades para determinar el alcance y las metas del proyecto

Actividades	Descripción
Reunión con directivos	El encargado del proyecto presentará a las personas que desarrollarán el proyecto lo que la empresa espera conseguir mediante la automatización del proceso. Entre ambas partes se definirá cual es el alcance, es decir hasta dónde llegará el proceso, teniendo en cuenta las necesidades de todas las partes del proyecto.
Redacción del documento	En este documento se debe plantear con el mayor detalle lo que se implementará. Las personas encargadas del proyecto redactan un borrador del documento y lo presentan a los directivos de la empresa con el fin de ajustar ideas. Una vez se han definido con claridad las ideas se redacta un borrador final.

Fuente: elaboración propia, mayo de 2010.

2.1.2.2 Fase 2 Definición de objetivos. Esta etapa consta de una sola actividad, la redacción de los objetivos, y más que definir los pasos para realizarla, en este trabajo se darán recomendaciones para su buena elaboración. En todos los modelos revisados no se desarrolla una forma en la que se deben redactar. Dichas recomendaciones se encuentran en el anexo 1.

El autor Henry Mitzenberg en su modelo de planeación dice que los objetivos son fundamentales para establecer las metas que se desean alcanzar, por tal razón la redacción de los objetivos debe ser lo suficientemente clara para evitar ambigüedades entre lo esperado y lo recibido por el cliente, serán usados en los procesos de evaluación de la eficacia del proyecto. No se debe pensar en los objetivos como un requisito más por cumplir, ellos marcan el derrotero y lo que se desea conseguir.

Los objetivos para el plan de automatización industrial deben respetar los límites del alcance expresado en la fase anterior y satisfacer las necesidades evidenciadas en la primera etapa, principalmente se debe tener en cuenta que los objetivos encaminaran la propuesta de solución que se realice.

Los objetivos son diseñados por todas las partes involucradas en el proceso de automatización bajo la coordinación del encargado por la empresa cliente para ser el responsable del proyecto.

2.1.3 Etapa III Propuesta De Solución

2.1.3.1 Fase 1 Propuesta de solución. El desarrollo de la propuesta consiste en generar un documento de venta, donde se exponga de manera clara, sencilla y entendible, la solución que se quiere dar a las necesidades expresadas por la empresa. Con capacidad para convencerle de que la propuesta es apropiada, que se cuenta con los recursos para llevarla a cabo logrando los resultados deseados dentro del presupuesto y acorde al programa sugerido.

Una fuente de información para lograr el éxito de la propuesta consiste en analizar casos similares al que se desea solucionar, con el fin de evaluar los problemas que se presentaron en la implementación de esos sistemas de automatización. Esta recomendación parte de la experiencia de ingenieros encargados de este tipo de labores en la industria.

Se propone un formato de propuesta compuesto de tres partes: la primera parte será el componente técnico, en él se expondrán las características generales del sistema de control o la propuesta de automatización a implementar; la segunda parte será la propuesta administrativa, en la cual se mostrará el programa mediante el cual se llevará a cabo la solución; la parte final expondrá los costos asociados al proyecto, su objetivo será convencer que el proyecto es realista, razonable y que las mejoras proporcionarán beneficios económicos.

2.1.3.1.1 Componente Técnico. Los documentos sugeridos en el componente técnico son los que determinan la tecnología a usar y se describe su funcionamiento dentro del sistema de control, en la tabla 10 se establece el contenido de dichos documentos.

Tabla 10 Contenido de la propuesta en el componente técnico

Elemento	Descripción
Situación actual	Consiste en plasmar en el documento la información hallada en la planta o proceso evidenciando los aspectos técnicos que requieran la intervención de la empresa que sugiere la mejora mediante sistemas de automatización.
Comprensión del problema	El encargado del proyecto debe expresar el problema o necesidad del cliente para mostrarle a la empresa que se comprende por completo lo que se desea solucionar, además establece la base para la solución propuesta más adelante en la documentación y detalle de la solución. La comprensión se realizó en la primera fase del plan y en esta parte se expondrá como referencia.
Especificación Funcional	Se compone de una descripción del sistema de control, de forma resumida, sencilla y entendible para el cliente, donde se explique en que partes del proceso se va a incidir, y que función va a realizar.
Seguridad del sistema	Se describirá el sistema de alarmas y eventos, así como los reportes que se deben generar y la seguridad del sistema en cuanto al acceso a la información y el nivel de manipulación. Además protocolos de seguridad del sistema de automatización.

Tabla 10 (Continuación)

Elemento	Descripción
Instalación del sistema	Se mostrarán los cambios que deben realizarse en la planta, en cuanto a su estructura, la ubicación de maquinas y equipo, en el caso de presentarse. Otro punto a considerar es la necesidad de capacitar a los operarios y se mencionará como se enseñaría el manejo del nuevo sistema.
Impacto ambiental	Se elaborará un estudio de impacto ambiental, mediante el cual se identifican, previenen e interpretan los impactos ambientales que producirá un proyecto en su entorno en caso de ser ejecutado. Dicho estudio debe ser realizado por entes especializados en esta área de la ciencia.

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

2.1.3.1.2 Componente administrativo. Mediante los documentos elaborados en este componente se presenta al cliente la forma en la que se desarrollan las actividades que conlleven a la implementación del proyecto. Su presentación busca que el cliente tenga conocimiento claro y detallado sobre la manera, cantidad y tiempo de las actividades propuestas.

Tabla 11 Contenido de la propuesta en el componente administrativo

Elemento	Descripción
Objetivos	Como se mencionó anteriormente ellos marcan el derrotero a seguir y la meta que se busca alcanzar mediante la ejecución del proyecto de automatización
Alcance	Se debe mostrar al cliente en este documento hasta que nivel del modelo jerárquico ISA 95 abarcará la solución que se propone. De ser necesario se debe realizar una descripción del alcance en términos de tecnología y cuáles son las condiciones de entrega del hardware y/o software, así como manuales y cualquier otra documentación necesaria para el manejo y mantenimiento del sistema.
Descripción de las tareas de trabajo	Breve descripción de lo que incluye cada tarea. La propuesta no necesita incluir una lista detallada de las actividades, una lista de esta clase se encuentra mas adelante en el desarrollo de la etapa documentación detallada de la solución en la fase programación de la instalación y se realiza una vez se ha aprobado la propuesta.
Programa de Proyecto	Programa de las actividades a realizar, que muestre que pueden cumplirse dentro de los límites de tiempo establecido. Debe contener las principales actividades que deben realizarse para culminar con éxito el proyecto correlacionadas

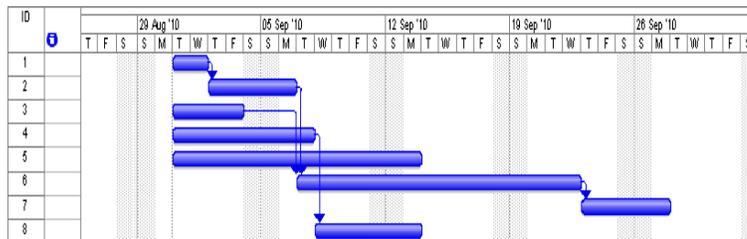
Tabla 11 (Continuación)

Elemento	Descripción
Evaluación del proyecto	<p>Las pruebas que se desarrollan posteriormente en la etapa de pruebas se especifican en esta parte del documento, para que el cliente sepa bajo que parámetros se evaluará el desempeño de su proceso y cómo será la manera de comprobar que efectivamente el alcance y los objetivos del proyecto se cumplieron. Estas pruebas serán de tipo técnico y entre ellas se tiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pruebas de calibración de cada uno de los instrumentos instalados. - Pruebas neumáticas para verificar que no hayan fugas de aire(en montajes neumáticos) - Pruebas de verificación de purgas de líneas por suciedad - Pruebas de instalación de válvulas - Pruebas de continuidad y conexionado de cables - Pruebas de las fuentes de alimentación - Pruebas de sistemas de puestas a tierra - Pruebas de salidas de los controladores - Pruebas de operación de válvulas de seguridad - Pruebas de bloqueos

Fuente: elaboración propia, mayo de 2010.

Se recomienda que el componente administrativo contenga además un diagrama de Gantt como el mostrado en la figura 13. Para programar de manera organizada las actividades, éste facilita la interpretación en cuanto a la relación tiempo y actividad. En la parte izquierda del diagrama se enuncia la tarea y en la parte derecha a través de unas barras horizontales se detalla el tiempo estimado para realizar dicha actividad. El uso de este diagrama quedará ejemplarizado en su aplicación en el plan para la implementación del caso de estudio.

Figura 13 Ejemplo de un diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia, marzo de 2010.

Los diagramas de Gantt se usan con el fin trazar la ruta crítica del proyecto y marcan el derrotero a seguir durante la ejecución del mismo, se sugiere por parte ingenieros especialistas en el desarrollo de este tipo de proyectos el uso de Microsoft Projectt para realizar este tipo de diagramas. Esta herramienta sirve para llevar a cabo tareas de planeación en la asignación de recursos para actividades, seguimiento del progreso del proyecto, administración de presupuesto y análisis de las cargas de trabajo.

2.1.3.1.3 Componente de costos. El propósito del componente de costos es exponerle al cliente la viabilidad del proyecto, esto en otras palabras, es justificar su ejecución desde el punto de vista económico, para esto se debe indicar los principales costos y los beneficios que se tendrá tras la realización de la automatización. A continuación en la Tabla 12 se describen los aspectos a tener en cuenta para llevar a cabo este componente.

Tabla 12 Estimados para el costo del proyecto

Elemento	Descripción		
Trabajo	Proporciona los costos según los perfiles de las personas que trabajarán en el proyecto. Se realiza con las horas estimadas de trabajo y la tarifa del perfil. Dentro de estos perfiles se encuentra el Director del proyecto, instrumentistas, ingenieros de software o programadores entre otros.		
Hardware Software	Categoría principal	Sub-categoría	Descripción
	Instrumentación de Campo	<ul style="list-style-type: none"> • Entradas • Salidas 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores. • Transmisores. • Actuadores.
	Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware del sistema • Interfaz de la planta • Interfaz del Operario 	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria, Procesadores, tarjetas de comunicación, fuentes de bajo poder, etc. • Tarjetas E/S, racks, gabinetes • Periféricos, etc. • Controladores (PLC, DCS, Motion Control) • Servidores • PC
	Software	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema • Aplicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistemas operativos, programas • Configuración, graficas, HMI's.'
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Eléctrica • Neumática • Redes 	Bandejas, líneas principales, gabinetes de terminación, fuentes de energía y aire, cables, terminaciones, mangueras.	

Tabla12 (Continuación)

Elemento	Descripción
Reserva Administrativa	Es una cantidad que el encargado del proyecto incluye para eventos o artículos inesperados que no se hayan tenido en cuenta o que se deben de hacer de nuevo.
Utilidades	Los puntos anteriores hacen referencia a los costos del proyecto como tal, este punto tiene que ver con lo que el encargado del proyecto piensa cobrar para la realización del proyecto, la suma de las utilidades y los costos son el precio total de la realización del proyecto.

Fuente: elaboración propia, mayo de 2010.

Para justificar un proyecto de automatización industrial es necesario dar a conocer los beneficios que este proyecto trae consigo, estos pueden ser tangibles ó intangibles. Los tangibles básicamente son los esperados al momento de establecer los objetivos para solventar la necesidad o solucionar un problema, tales como: incrementar la eficiencia, realizar controles más estrictos, mejorar el consumo de energía o el rendimiento, reducir la frecuencia con que se realiza el mantenimiento, disminución de los riesgos profesionales, entre otros. Los beneficios intangibles son más difíciles de observar pero igual están presentes, algunos podrían ser: mayor flexibilidad, mejoramiento de la seguridad, mejor y más información, impacto medioambiental, cumplimiento de estándares, entre otras.

2.1.4 Control de cambios. La inclusión de un método mediante el cual se pueda llevar el control de los cambios, que establezca claramente el procedimiento para validar e incorporar cambios de manera controlada manteniendo los alcances y entregables dentro de los márgenes aceptables, tratando de evitar al máximo pérdidas para la empresa o el ingeniero encargado del proyecto, se incluye por sugerencia de los ingenieros que colaboraron en el diseño del plan, a partir de la experiencia en la industria.

De acuerdo con el Instituto para la Gestión de Proyectos (PMI, de sus siglas en ingles) en la guía PMBOK, para las buenas prácticas en la gestión de proyectos [9], la realización del proceso de control de cambios permitirá a cualquier interesado

involucrado en el proyecto solicitar cambios, los cuales se deben realizar de manera escrita.

Cada solicitud se evaluará por los representantes de las partes, en este caso el encargado del proyecto y el representante de la empresa cliente, si la solicitud de cambio genera alto impacto sobre el proyecto, esta será enviada al inmediatamente superior en cargo de ambas partes, quienes definirán su aprobación.

Este proceso se ejecuta durante toda la vida del proyecto a partir de la aprobación de la propuesta de solución, sus componentes se especifican en la tabla 13.

Tabla 13 Componente del control de cambios

Parte	Descripción	Elementos
Entrada	Objetivos, alcances del proyecto y la propuesta de solución, en algunos casos dependiendo de la complejidad del proyecto podría incluirse: contratos, informe de visitas, pólizas, análisis de preventa, entre otros	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente de cambio: de donde proviene el cambio y algunos son, la empresa cliente, empresa o ingeniero contratista, terceros como proveedores, gobierno (normas, leyes) y otras excepciones - Descripción del cambio. - Justificación del cambio
Herramientas y Técnicas	Son los recursos que se emplearán con el fin de poder determinar la posibilidad de incluir el cambio propuesto.	<p>Juicio de expertos: se refiere a consultar personas que hayan tenido experiencia con el tipo de cambio que se desea realizar y el tipo de proyecto que se esta ejecutando.</p> <p>Reunión de control de cambios: en esta se presentan, se evalúa y se someten a juicio con el fin de determinar su aprobación Los puntos principales para evaluar cada solicitud recaen en las siguientes preguntas a debatir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son los beneficios esperados del cambio propuesto? - ¿Justifican esos beneficios los costes asociados al proceso de cambio? - ¿Cuáles son los riesgos asociados? - ¿Se dispone de los recursos necesarios para llevar a cabo el cambio con garantías de éxito? - ¿Puede demorarse el cambio?

Tabla 13 (Continuación)

Parte	Descripción	Elementos
Salida	Si el cambio propuesto no fue aceptado, se debe dejar constancia mediante la solicitud de cambio firmada por la persona que negó el cambio en el proyecto y un documento en el cual se justifique la negativa. En caso de que se apruebe el cambio se deben actualizar los siguientes documentos.	<p>Actualización del proyecto y monitoreo del cambio: se verifican los objetivos, alcances, propuesta de solución los calendarios previstos, la asignación de recursos y las especificaciones de hardware y software. Para determinar si el cambio es posible</p> <p>Documentación del Cambio: es necesario actualizar la documentación perteneciente la solución detallada y documentos entregables al cliente así como anexar la solicitud al registro de cambios</p>

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

2.1.5 Etapa IV Documentación Detallada De La Solución. Para esta etapa se seguirán las actividades propuestas en las dos primeras etapas del modelo desarrollado en la materia de automatización I del programa de Ingeniería en automática industrial de la Universidad del Cauca. Se considera una opción bastante completa para esta etapa y los resultados obtenidos de su uso son muy completos.

Debe haber un responsable de todo el proyecto, quien supervise las acciones del proyecto y responda ante la empresa cliente. A su vez se deben contar con equipos de personas encargadas del software y el hardware del proyecto, estos equipos deben presentar informes al Director y mantenerlo informado sobre los avances y los cambios en sus respectivas tareas.

El equipo encargado del hardware debe verificar que la arquitectura del sistema se haya diseñado como está establecido en la propuesta, de acuerdo a la arquitectura, al número y tipo de paneles de control a montar, se debe determinar los conductos que se deberán trazar. A partir del desarrollo del nuevo diagrama P&ID se obtiene la lista de los instrumentos necesarios en la instalación, esto arrojará las características básicas para la escogencia a desarrollarse más adelante.

Para el software se debe considerar el modelo de control procedimental de la ISA88 como base conceptual para el desarrollo de las acciones de control.

2.1.5.1 Fase 1 Documentación y detalle de la solución. Estos documentos son muy importantes tanto para el encargado del proyecto como para la empresa, en ellos queda documentada la solución desde el punto de vista técnico. Estos documentos marcan la pauta para llevar a cabo la implementación y todos los desarrollos que implique la ejecución del proyecto de automatización.

En la tabla 14 se describe el contenido de los documentos, necesarios para el desarrollo de esta fase.

Tabla 14 Descripción de los documentos de la fase de documentación y detalle de la solución

Nombre	Descripción	Documento	Contenido
Ingeniería Básica	Se trata de una serie de documentos en los que se especificará de manera clara, sin ambigüedades la forma en la que el sistema de automatización realizará las tareas del proceso productivo. Se deben incluir funciones, interacciones de control con operarios y secuencias de operación	Especificación funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Descripción del sistema de control. - Cantidad de lazos. - Tipo de control.
		Modos de operación	<ul style="list-style-type: none"> - Modos de arranque. - Modos de parada. - Paros de emergencia. - Fallas del sistema y recuperación.
		Operación funcional	<ul style="list-style-type: none"> - Funciones de control normal. - Lazos de regulación - Alarmas y display de las mismas
		Funcionalidad del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Interfaces de operador. - Atributos de los sistemas computarizados. - Seguridad. - Dispositivos de entrada - Reportes de salida.
		Datos colectados y generados	<ul style="list-style-type: none"> - Tabla con los datos de las variables del sistema con sus unidades de ingeniería, rango, frecuencia de adquisición y resolución.
		Interfaces del sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Detalle de entradas y salidas del sistema de control. - Interfaces con terceros

Tabla 14 (Continuación)

Nombre	Descripción	Documento	Contenido
Ingeniería de Detalle	Se describe con planos, diagramas y documentos de especificación, la solución de automatización escogida, se usarán para realizar todas las tareas de instalación y puesta en funcionamiento.	Instalación del sistema	- Cambios en la planta.
		Requerimientos de talento humano	- Requerimientos de personal. - Detalle de funciones de operarios, instrumentistas, técnicos e ingenieros participantes en el proyecto.
		Descripción del sistema de comunicaciones	- Arquitectura de la red. - Especificación de elementos.
		Estándares y normas usadas en los implementos	- Estándares, metodologías y normas para el hardware y el software.
		Diagramas y planos	<ul style="list-style-type: none"> - Diagrama P&ID. - Diagramas de lazo - Planos de montaje. - Diagrama de montaje. - Ruta de montaje. - Planos eléctricos. - Descripción de la estructura software. - Documentación del software <ul style="list-style-type: none"> • Jerarquía de pantallas graficas • Alarmas • Históricos • Tendencias • Asignaciones E/S - Códigos software.

Fuente: elaboración propia, julio de 2010.

2.1.5.2 Fase 2 Programa detallado de trabajo. La selección de los elementos que hacen parte de la solución de automatización, implica en la gran mayoría de los casos un proceso de escogencia entre múltiples opciones. Al no limitar la solución a una sola marca de instrumentación, PLC's, software y demás componentes de automatización, se deben estudiar diferentes alternativas entre las cuales se pueda elegir. Este proceso

es complejo más aún si no se cuenta con una metodología que ayude al encargado del proyecto a realizar esta tarea.

En la primera fase del plan se sugirió una metodología para poder clasificar los problemas según su grado de importancia, esta misma será usada en esta parte del plan con el fin de poder escoger los elementos del sistema de automatización.

Una vez han escogido los elementos de la solución de automatización, se elabora una lista y se prepara la documentación de cada uno de ellos, estos documentos se entregan al cliente una vez se finalice el proyecto y serán importantes para realizar su montaje, calibraciones, programación y posterior mantenimiento.

Teniendo la documentación concerniente a la descripción detallada de la solución, se procede a listar las actividades en orden de prioridad necesarias para la ejecución del proyecto. Se debe tener en cuenta que algunas actividades pueden desarrollarse en paralelo.

Programar las actividades consiste en relacionar las actividades clasificadas anteriormente con los tiempos estimados para su ejecución, además de los recursos a utilizar y el responsable de la actividad. Como se recomendó en la etapa propuesta de solución, y teniendo en cuenta la experiencia de ingenieros en el campo de la ejecución de proyectos, es conveniente usar el diagrama de Gantt, esquematizado en la figura 14.

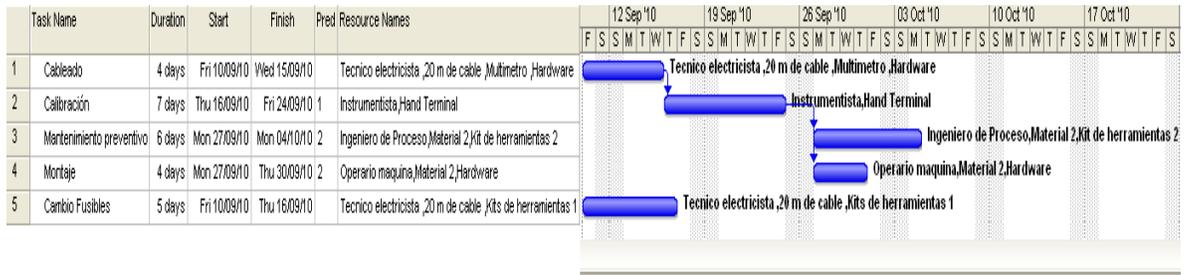
Para visualizar la duración de cada una de las actividades dentro del tiempo presupuestado, es recomendable complementarlo con información que enriquezca el gráfico útil para al encargado del proyecto, se sugieren a continuación la siguiente información que debe estar incluida.

Tabla 15 Recursos para la instalación

Recurso	Descripción
Recurso Humano Necesario.	Personal necesario para ejecutar la actividad.
Materiales.	Materiales que se utilizaran en la actividad.
Herramientas.	Equipos o instrumentos necesarios, utilizados por el personal para ejecutar la actividad
Ubicación.	En esta columna se debe colocar el sitio en donde se realizará la actividad según el modelo físico de la norma ISA88
Responsable.	Es el encargado de que la actividad se lleve a cabo y que cumpla con los requerimientos de tiempo.
Tipo de actividad.	Se considera separar las actividades del proyecto en tres categorías, una categoría donde se clasifican las actividades de carácter hardware, otra categoría concerniente al software y la última categoría donde se clasifican las actividades donde se involucre software y hardware

Fuente: Elaboración propia, junio de 2010

Figura 14 Diagrama de Gantt complementado



Fuente: Elaboración Propia, junio de 2010

2.1.6 Etapa V Pruebas. Una vez se ha realizado la instalación del sistema bajo los pasos desarrollados en las fases de las etapas anteriores, se realiza una serie de pruebas, éstas tienen como objetivos, establecer una comparación entre lo proyectado y lo ejecutado, además de validar el funcionamiento del sistema

2.1.6.1 Fase 1 Pruebas del sistema. Los pasos para desarrollar las pruebas al sistema se relacionan en la tabla 16.

Tabla 16 Pasos para la realización de pruebas del sistema

Paso	Componente
Preparación de documentos	<ul style="list-style-type: none"> - Preparar planos, diagramas P&ID, - Diagramas eléctricos - Hojas de especificaciones - Diagramas de lazo.
Verificar calibración de instrumentos.	Se revisa la calibración de cada uno de los instrumentos instalados.
Realizar pruebas mecánicas:	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar que no hayan fugas de aire(en montajes neumáticos) - Verificar purgas de líneas por suciedad - Verificar instalación de válvulas
Realizar pruebas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar continuidad y conexión de cables - Verificar fuentes de alimentación - Verificar puestas a tierra - Verificar salidas de los controladores

Tabla 16 (Continuación)

Paso	Componente
Pruebas de dispositivos de seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar operación de válvulas de seguridad de acuerdo a los planes de seguridad de la empresa y los lineamientos gubernamentales para este tipo de procesos. - Simular enclavamientos - Verificar bloqueos

Fuente: Elaboración Propia, julio de 2010.

2.1.6.1.1 Pruebas del sistema de control. Se debe realizar una verificación del funcionamiento del software con el sistema de control. Se simulan entradas y salidas en el sistema de control y se reportan los hallazgos, todas las pruebas deben quedar registradas con el fin de establecer desviaciones con lo esperado. Los pasos para realizar las pruebas del sistema se relacionan en la tabla 17.

Tabla 17 Pruebas del sistema de automatización

Prueba	Descripción
Dispositivos	Se prueban cada uno de los elementos sin ninguna conexión. Se simulan las entradas al dispositivo y se evalúa su desempeño. Este tipo de pruebas se llevan a cabo en laboratorio. Este tipo de pruebas se lleva a cabo en casos reales, se incluye en el modelo sugerido como recomendación de ingenieros expertos.
Elementos como unidad	Se deben probar todos los elementos como unidad, se verifica su instalación, conexiones, funcionamiento y comunicaciones, para esto se usan los fluidos que se van a procesar con el sistema automatizado.
Lazos de control	Se prueban los lazos de control y su respuesta individualmente, analizando su respuesta ante los posibles estados que se puedan presentar en el desarrollo de las acciones de control.
Emulación	Se emulan las señales y se observa la respuesta del sistema.
Sintonización	Se sintonizan lazos de control mediante la variación de los parámetros de su algoritmo de control a las condiciones de trabajo.
Especificación funcional	Se comprueba que lo instalado opera y cumple los requerimientos definidos en el documento de detalle de la solución, especificación funcional.
Revisión de salidas	Se revisa el estado de las salidas y se registran las desviaciones.
Integración	Se integra cada etapa del sistema de automatización.

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

2.1.6.2 Fase 2 Puesta en marcha. Una vez se han realizado las correcciones sobre las desviaciones halladas en el sistema, se inicia la puesta en marcha del sistema. Para poder llevar a cabo esta actividad se seguirán los pasos enunciados en la tabla 18.

Tabla 18 Pasos para la puesta en marcha del sistema

Paso	Descripción
Comprobación de lazos	Comprobar cada lazo de forma manual y la operación del elemento final de control. Se debe registrar lo encontrado en cada lazo en su respectiva hoja de control.
Verificación de secuencias	Observar que el sistema cumpla las secuencias de control y las respuestas de los actuadores sean las esperadas.
Pruebas de controladores	Realizar las prueba de controladores, primero en modo manual, luego en modo automático con acción proporcional, luego adicionar la integral y derivativa hasta lograr su sintonía.
Pruebas de control	Verificar la operación de controles en cascada, y otras topologías.
Sintonización fina	Ajustar los parámetros tanto de los controladores, actuadores, transmisores y sensores para que se ajusten a las condiciones reales de trabajo.
Documentación	Generar manuales operativos y de servicio de equipos, además de los documentos que hayan sufrido cambios durante la última parte de la puesta en marcha

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

2.1.7 Etapa VI Entrega Del Proyecto. Una vez el proyecto finaliza, se inicia la etapa en la cual el cliente debe dar el visto bueno del proyecto, esto se hace realizando la comprobación el cumplimiento de los límites y objetivos planteados al inicio.

2.1.7.1 Fase 1 Capacitación del Personal. En la práctica ha quedado demostrado que enfrentar al personal con un sistema totalmente desconocido genera inconformidad e ineficiencia, una mala operación puede hacer que la planta opere aun por debajo de los parámetros de funcionamiento anteriores a la implementación de la automatización.

La capacitación no es una actividad de finalización del proyecto, es recomendable realizarla a la par de las actividades del montaje e implementación del sistema en general, los encargados del mantenimiento deben conocer adecuadamente el

funcionamiento de los equipos instalados. Realizar estas actividades desde el inicio del proyecto ha demostrado en la práctica que reduce los costos del mantenimiento posterior a la entrega al tener operarios capacitados en el manejo de los elementos asociados a la solución de automatización, ellos mismos pueden realizar mantenimientos preventivos y correctivos, evitando así recurrir a empresas externas, que impliquen costos adicionales.

Tabla 19 Actividades para la capacitación del personal

Actividad	Descripción
Definir perfiles	En la etapa de conocimiento de la empresa se definieron los diferentes perfiles de los operarios y trabajadores de la planta que interactúan con el sistema de producción, se seleccionaran los idóneos para recibir la capacitación
Definir contenidos de la capacitación	Se debe capacitar a los operarios en el Manejo del sistema consistente en: Cambio de set points Introducción de recetas Cambio de recetas Mantenimiento correctivo software Mantenimiento preventivo del sistema Seguridad del sistema Calibración de elementos Sintonización de controladores
Definir horarios de capacitación	Se concertará un horario entre la empresa y los encargados del proyecto con el fin de poder dar a conocer los contenidos de la capacitación a los empleados seleccionados, sin que se afecten las labores de la empresa., este horario será únicamente para dar la capacitación final, pero se debe contar con el personal escogido durante todo el desarrollo del proyecto, sobre todo al momento de su implementación.

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

2.1.7.2 Fase 2 Entrega del proyecto. Las actividades de entrega del proyecto se listan en la tabla 20.

Tabla 20 Actividades para la capacitación del personal

Actividad	Descripción
Evaluación de objetivos	Se evalúan los objetivos y se compara lo establecido en ellos con lo entregado por los encargados del proyecto

Tabla 20 (Continuación)

Actividad	Descripción
Documentación Entregada	<ul style="list-style-type: none">- Planos, eléctricos, neumáticos y estructurales- Diagramas P&ID.- Manuales de operación del sistema y de los instrumentos- Tablas de calibración- Planos de montaje- Manuales de manejo del software.- Manuales de mantenimiento- Reportes de pruebas.
Entrega de la implementación	Se realiza la entrega oficial del proyecto a la empresa verificando el cumplimiento de los objetivos y los alcances del proyecto, dejando constancia de la entrega por escrito especificando que se entrega a satisfacción del cliente.
Soporte y garantía	En un documento se garantiza tanto los dispositivos como la solución completa de automatización. Mediante este documento el cliente podrá recibir soporte post venta de la solución y en el caso de presentarse fallos, pueda acudir al proveedor para obtener los correctivos necesarios.

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

Conclusiones capítulo 2

Uno de los cambios más importante que se incluyó tras la revisión de los ingenieros que colaboraron con el diseño de plan, fue el método para realizar el control de cambios, este aspecto es fundamental para poder mantener el proyecto dentro de los márgenes tolerables, manteniendo las actividades y sus resultados dentro de los objetivos y límites establecidos en un principio. Para la elaboración de este método se tomó como base la información usada en la metodología de la empresa local.

Se consideró muy importante incluir en el diseño del plan para la implementación de proyectos de automatización industrial, una serie de recomendaciones acerca de cómo desarrollar los documentos y las actividades propuestas, esto marca una diferencia con respecto a las metodologías analizadas en el primer capítulo y pretende dar una guía más clara al usuario del mismo.

Algunos de los modelos de las normas ISA 88 y 95 no se tuvieron en cuenta para la realización del plan propuesto en este trabajo, pues en particular los modelos de la ISA 95 se usan con el fin de modelar el flujo de comunicación entre las partes de la empresa. Aunque se recomienda el uso de estos estándares no se impone su uso al momento de usar el presente plan, así mismo la delimitación del alcance se puede hacer con cualquier otro modelo diferente o mediante la descripción del mismo.

3. DESARROLLO DEL PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA.

En el diseño del plan de implementación del proyecto de automatización de la planta de tratamiento El Tablazo del Acueducto de Popayán, se parte de la premisa que todos los estudios, recopilación de información y análisis que se realicen, arrojarán como resultado un proceso de automatización del proceso productivo, en este caso la potabilización de agua.

El plan de implementación para la automatización del proceso de potabilización de la planta El Tablazo, se desarrolla siguiendo los pasos de planeación propuestos en el capítulo anterior, como se muestra en la figura 15. No se tienen en cuenta el control de cambios, pues esta etapa se emplea una vez se inicia la ejecución del proyecto, ni la presentación de la propuesta pues su contenido se incluye en la documentación detallada de la solución. La presentación de una propuesta de este tipo se incluye en el anexo 7.

El caso de estudio se aborda como sí el proyecto se desarrollara por parte de un equipo externo, en el caso de ser abordado por un equipo interno el plan iniciaría desde la etapa de la identificación de la necesidad y se pasa directamente al establecimiento de los límites y el alcance del proyecto, obviando las etapas de recolección, modelamiento y análisis de información.

El trabajo se desarrolló con datos reales de la planta de tratamiento y se basa en las necesidades identificadas en la empresa y las manifestadas por parte de los encargados de su operación y administración.

La aplicación del plan para la implementación de proyectos de automatización industrial en la planta de tratamiento El Tablazo, es un desarrollo académico, por tanto

no se consideró la participación de un representante de la empresa, pues las labores sugeridas en el capítulo anterior se asumen por quienes elaboran el proyecto.

La implementación de la automatización de una planta de tratamiento de agua y sus estaciones de bombeo, precisa del conocimiento adecuado y profundo de las medidas y controles, con el fin de diseñar un sistema eficiente, fácil de operar, que asegure menos trabajo, menores costos de producción y un mejor producto.

Figura 15 Pasos para el plan para la implementación de un proyecto de automatización en la planta El Tablazo



Fuente: elaboración propia, agosto de 2010.

A continuación se presenta la aplicación del plan propuesto, tomando como referencia la planta de tratamiento de agua potable del acueducto de Popayán, El Tablazo.

3.2 APLICACIÓN PLAN DE IMPLEMENTACIÓN A UN CASO DE ESTUDIO

3.2.1 Etapa I Conocimiento De La Empresa

3.2.1.1 Fase 1 Diagnostico del procesos productivo. A continuación se compila la información necesaria para realizar el diagnostico del proceso productivo, siguiendo los pasos propuestos en la fase 1.

Tabla 21 Información recolectada

Información	Descripción
Personal encargado de la planta	<p>Se cuenta con el siguiente personal para la operación de la planta:</p> <ul style="list-style-type: none">• 3 operarios para el control y la supervisión en turnos de 8 horas.• 1 operario por bocatoma• 1 operario de tanques SENA• 1 jefe de producción planta El Tablazo• 1 bacterióloga.• 1 jefe de división de tratamiento.• 1 auxiliar de laboratorio.
Descripción de la empresa	<p>La Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán es una empresa perteneciente al sector de los servicios públicos, fundada en el año de 1955. Su objeto social lo constituye la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado, que consiste en la distribución municipal de agua apta para el consumo humano incluida su conexión y medición, a las actividades complementarias tales como captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y transporte. [12]</p> <p>La planta de tratamiento de agua potable "El Tablazo" se localiza en el sector nororiental del perímetro urbano de la ciudad de Popayán, en el departamento del Cauca.</p> <p>El funcionamiento de la planta en su mayoría es hidráulico, con un sistema de bombeo para el sector ubicado hacia el norte de la planta, de operación manual.</p>
Misión	<p>La misión de la SOCIEDAD ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A - ESP es la de satisfacer oportuna y eficientemente las necesidades básicas de provisión de agua potable y disposición de aguas servidas, mediante la prestación directa de estos servicios, garantizando calidad, cantidad y continuidad a la totalidad de la población que lo demande. [12]</p>

Tabla 21 (Continuación)

Información	Descripción
Visión	La Visión esta sustentada en la filosofía de la calidad y mejoramiento continuo, dirigirá todas sus acciones a satisfacer las expectativas de la población que lo demande, en lo que se refiere a la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, fundamentada en los procesos de conservación ambiental. [12]
Políticas de la empresa	La empresa no realiza diseño de nuevos servicios, ni de nuevos productos, teniendo en cuenta que para el caso del producto es agua tratada, su servicio colocarla a disposición en los predios y para alcantarillado el servicio de manejo de aguas servidas; para la producción y prestación de sus servicios, se diseñaron en una sola ocasión los sistemas de captación, plantas de tratamiento, redes de distribución y recolección de aguas servidas; la construcción de estos diseños pasaron a ser parte de la infraestructura de la empresa y en la actualidad ellos se conservan; se presentan mejoras que se consideran en los procesos de mantenimiento en el requisito de infraestructura.
Entes Externos	<p>Clientes. Son las personas de la ciudad de Popayán y el uso que se le da al agua esta caracterizado como de uso residencial, comercial, industrial y oficial</p> <p>Estado. El acueducto de Popayán debe cumplir con los lineamientos de la resolución 2125 de 2007 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.</p> <p>Proveedores El sulfato de aluminio, el gas cloro y la cal viva son suministrados por empresas de la ciudad de Cali, Valle del Cauca, al precio del material se el debe agregar el valor del transporte.</p>
Capacidad	<p>La planta aporta el 90 % del total del sistema de agua tratada para la ciudad, y trabaja por gravedad para la zona baja de la ciudad y para la zona norte mediante sistema de bombeo y rebombeo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fuente de abastecimiento: Río Piedras, Río Pisojé y Río Cauca. • Captación: la bocatoma para el Río Piedras se localiza a 80,00 mts de su confluencia con el Río Cauca en una cota de 1890 msnm. • Presa vertedero: la presa vertedero tiene una longitud de 16,20 mts y 1,80 mts de altura promedio, con captación de tipo lateral sobre la margen derecha del río. La salida al canal de conducción se hace mediante una compuerta de 24". • Capacidad diseñada: la planta esta diseñada para captar y procesar 1050 l/s. • Capacidad actual: se capta y procesa un promedio de 900 l/s.[13]

Tabla 21 (Continuación)

Información	Descripción
Demanda	La planta suministra agua potable para 58.000 usuarios, los cuales tienen un consumo de 12.627 m ³ , la información asociada a este consumo se discrimina con mayor detalle en la tabla 1 del anexo 2.
Definición del tipo de proceso	Según la definición proporcionada por el estándar ISA88 y después de realizar la descripción del proceso productivo, se puede concluir que el proceso de potabilización de agua se caracteriza como un proceso de tipo continuo. Esto se establece al observar que el flujo de material es constante y el tratamiento del agua no depende directamente del tiempo.
Descripción de equipos implicados en el proyecto	Algunos desarrollos en automatización en la planta actualmente están inoperantes. Los equipos instalados son los siguientes: <ul style="list-style-type: none"> - Transmisor de nivel marca Siemens - Transmisor de presión diferencial marca Siemens - Analizador de cloro - Controlador con panel view marca Hach sc 1000. - Tablero de control marca Tecval. - Sensor de pH Monitex - Sensor transmisor de turbidez marca Hach. Una lista ampliada con otro tipo de equipos se encuentra en el anexo 2
Nivel de automatización	En el momento la operación de la planta se realiza manualmente. Y su nivel de automatización es nulo en los niveles 0, 1 y 2

Fuente: Elaboración propia, noviembre de 2010.

Descripción del proceso productivo. Para poder eliminar los microorganismos y las sustancias químicas presentes en el agua, dañinas para la salud humana se deben realizar una serie de tratamientos, que evitan que el agua tenga color, olor y sabores desagradables, incluso disminuye el efecto corrosivo que causa sobre los utensilios de cocina, tuberías y cañerías, prolongando su tiempo de uso.

A las etapas del proceso de potabilización se han añadido dos etapas más que aunque no tienen relevancia para el tratamiento del agua, se deben tener en cuenta para la automatización de la planta. Las etapas de la planta se exponen en la figura 16.

La Planta De Tratamiento es el conjunto de estructuras, equipos y materiales necesarios para acondicionar el agua, usados para producir en ella los cambios físicos químicos y bacteriológicos necesarios para que sea potable.

La planta debe entregar la cantidad suficiente de agua para satisfacer las necesidades de los usuarios y esta debe ser de óptima calidad para el consumo humano.

Figura 16 Etapas del proceso de potabilización en la plana El Tablazo

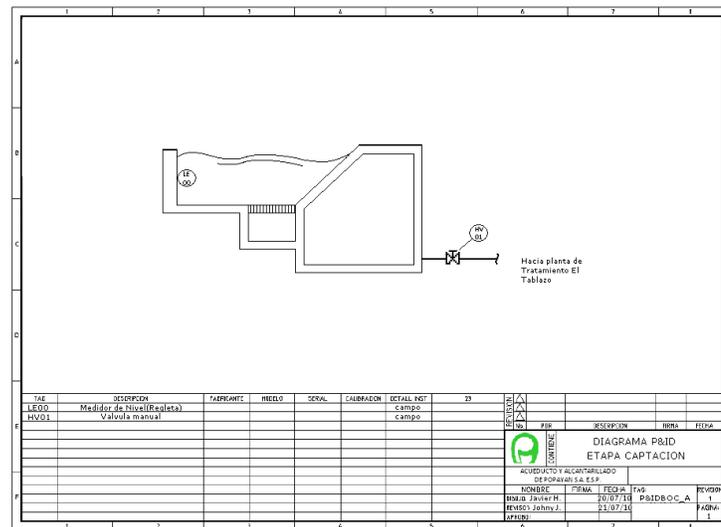


Fuente: elaboración propia, marzo 2010

Captación. Es el proceso de tomar el agua de la fuente natural, en el caso de la planta de tratamiento el Tablazo las fuentes son: el Río Las Piedras, el Río Pisoje y el Río Cauca. En la bocatoma se hace un represamiento del río, las compuertas que dan paso del agua desde el sitio de la captación se abren y transporta el agua por tuberías hacia la planta de tratamiento.

La bocatoma para el Río Piedras se localiza a 80,00 mts de su confluencia con el Río Cauca en una cota de 1890 msnm, esta diseñada para captar hasta 1800 Its/ses, y transportar y tratar un caudal de 900 l/s. Actualmente capta un promedio de 760 l/s. La presa vertedero tiene una longitud de 16,20 mts y 1,80 mts de altura promedio, con captación de tipo lateral sobre la margen derecha del río. La salida al canal de conducción se hace mediante una compuerta de 24". Aducción entre la cámara de salida de la captación y el desarenador mediante canal en concreto de sección 0,50x1,00 m y 98,10 m de longitud; este canal entrega a un túnel revestido en concreto de sección 1,50x1,80 m y 132,50 m de longitud hasta los desarenadores. [13]

Figura 17 Diagrama P&ID actual bocatoma



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Conducción. Mediante esta etapa se conduce la materia prima desde el sitio donde se hace la captación hasta la planta de tratamiento. La conducción del agua se realiza por medio de tuberías de asbesto, cemento y túneles de concreto. Con capacidad entre 900 y 1050 l/s y con longitud de 7731,65 mts distribuidos en trece (13) tramos como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22 Tubería de conducción

Tramo	Longitud (m)	Diametro	Tipo de tubería
1.	1565,81	24"	A-C Clase 10
2.	514,96	24"	A-C Clase 10
3.	33,13	24"	A-C Clase 10
4.	354,9	1,20x1,00	Rectangular
5.	2495,16	1,00x1,60	Rectangular
6.	72,96	24"	A.C.C.P
7.	767,05	1,00x0,90	Rectangular
8.	193,50	24"	A.C.C.P
9.	224,39	1,00x0,90	Rectangular
10.	90,42	1,45x0,90	Rectangular
11.	77,38	1,00x0,90	Rectangular
12.	884,00	16", 18" y 20"	A.C.C.P – A.C Clase 7.5
13.	458,00	1,00x0,90 – 24"	Rectangular – A.C Clase 6

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

La planta cuenta con dos cámaras de llegada. Sus características están expuestas en la tabla 23.

Tabla 23 Características de las cámaras de llegada

Cámara de llegada	Dimensiones	Desagüe
Antigua	3.00 x 2.50 x 1.20m	Tres compuertas laterales de 16"
Nueva	2.00 x 2.00 x 1.20 m	Tubería de 18"

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Aireación. Esta es conocida también como purificación biológica aeróbica del agua, corresponde al proceso de la incorporación de oxígeno al agua, buscando establecer un contacto íntimo del aire con el agua. El agua al golpearse burbujea, presionando el aire a través de la superficie incorporando mayores cantidades de oxígeno. Los objetivos de este proceso son eliminar sustancias volátiles que producen olores y sabores indeseables en el producto, como el sulfuro de hidrógeno o el gas carbónico entre otras, así como oxidar el hierro y el manganeso para formar precipitados que pueden eliminarse en procesos subsecuentes como la filtración o sedimentación.

En la planta El Tablazo se hace a través de una estructura de siete gradas que tiene por finalidad reducir el hierro mediante oxidación si eventualmente se requiere captar agua del Río Cauca. Permite el ingreso hasta de 1200 l/s con una superficie de contacto de 39 m². [13]

Dosificación de coagulantes. Con este proceso se busca eliminar del agua las partículas naturales en suspensión, causantes del color y la turbiedad, que además pueden conducir a la formación de capas apropiadas que sirvan de albergue a distintos patógenos. El coagulante que tiene una carga positiva que altera el comportamiento de las partículas que en suspensión tienen carga negativa y tienden a repelerse unas a otras, al incluirse el floculante estas se atraen al coagulante. Los coagulantes más

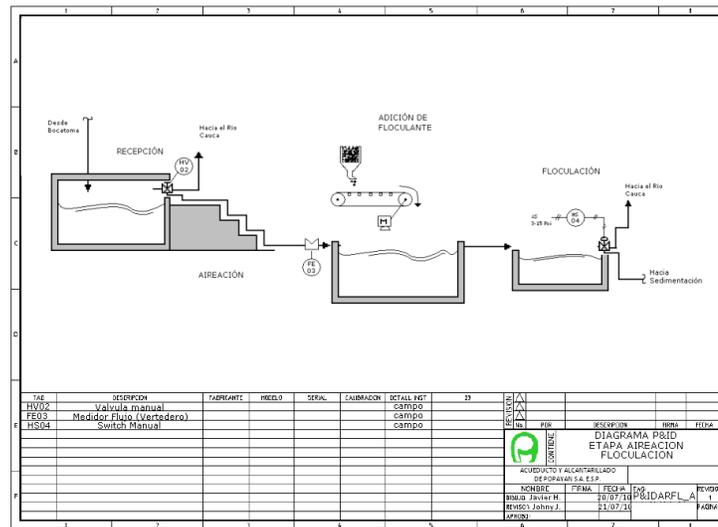
usados son: sulfato de aluminio, sulfato férrico, alumbre de amonio, alumbre de potasa, sulfato ferroso.

El aforo de caudal –se realiza en vertedero rectangular en el canal de recolección del aireador (canal de entrada a la planta). Para la dosificación se cuenta con dos (2) unidades de dosificación (para el alumbre y para la cal) tipo seco, dotadas de tanques de solución incorporados al equipo. El área de dosificación de cal primaria y sulfato de aluminio se localiza en una edificación de dos (2) plantas contigua al vertedero de aforo; reparte por gravedad las soluciones de los productos químicos usando una maquina dosificadora para esta etapa.

La planta de tratamiento el Tablazo usa sulfato de aluminio en presentación solida, en bultos de 50 Kg, para su dosificación se usa una maquina en cuya tolva se carga el material. La coagulación depende fundamentalmente de las características del agua y de las partículas presentes, las mismas definen el valor de los parámetros tales como el pH, alcalinidad, color verdadero, turbiedad, temperatura, fuerza iónica, sólidos totales disueltos, tamaño y distribución de tamaños de las partículas en estado coloidal y en suspensión. [13]

Las cantidades que poco a poco se agregan al agua dependen en este punto del caudal, el pH, la turbiedad y el color del agua, la medida del caudal se hace conociendo las medidas del tanque en donde se adiciona y el nivel del agua por medio de una regleta, la turbiedad y el Ph se determina por un muestreo que realiza el operario.

Figura 18 Diagrama P&ID aireación y adición de floculantes actual



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Mezcla rápida. Para lograr los gránulos de coagulante sólidos se disuelvan rápidamente en el agua se hace una agitación violenta del agua. Haciéndola pasar a través de unas compuertas pequeñas. Este proceso se efectúa en el resalto hidráulico generado por el vertedero de aforo con un gradiente de velocidad: 1800 seg-1 (para el caudal de diseño).

Coagulación. Es la desestabilización de las partículas suspendidas, es decir, la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas. Este proceso se realiza con el fin de eliminar del agua la turbiedad, el color, las bacterias nocivas y otros organismos patógenos. La eliminación de todo esto produce un agua aceptable lista para la etapa de desinfección.

Floculación. Es un proceso de agitación suave y continua del agua con coagulantes con el propósito de que se facilite el contacto de las partículas con el coagulante y entre ellas para formar otras de mayor tamaño que puedan retirarse con mayor facilidad para remover sustancias coloidales orgánicas e inorgánicas, las cuales se aglutinan en pequeñas masas de peso específico superior al del agua llamadas FLOC. Esta agitación suave se logra al reducir la velocidad del agua haciéndola pasar a través de canales y mediante el golpe del agua contra las paredes del canal.

En la planta El Tablazo tiene las siguientes características. Dos unidades de floculación tipo hidráulico de flujo vertical. Cada zona de gradiente dividida en cinco compartimientos, para un total tres zonas de floculación. Las características hidráulicas de los floculadores están consignadas en la tabla 24.

Tabla 24 Características de los floculadores planta El Tablazo

Concepto	Unidad 1	Unidad 2	Unidad 3
Gradiente (s)	78	61	38
Velocidad media (m/s)	0.14	0.14	0.14
Tiempo de retención (s)	20	20	20

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

La salida del floculador entrega a un canal de 1,60x1,00 mts, y la entrada a los dos (2) sedimentadores se hace mediante un pasamuros de 30"

Sedimentación Es la remoción de partículas más pesadas que el agua por acción de la fuerza de gravedad que posteriormente se depositan en el fondo del tanque llamado sedimentador. Mediante este proceso se eliminan materiales en suspensión.

En la planta El Tablazo este proceso se efectúa mediante cuatro unidades de sedimentación acelerada, cada una constituida por dos cámara iguales de 8.00x38.00 mts Con profundidad promedio útil de 3.85 m y velocidad horizontal del agua 0.18 m/s. La entrada a los filtros se efectúa por un canal de 1.00x0.85 mts y capacidad de transporte de 525 l/s La recolección de agua sedimentada en cada unidad se hace mediante seis tuberías de PVC de 12", con huecos de W [13]

Filtración. Es el paso del agua a través de un medio poroso, utilizado para eliminar las partículas suspendidas en ésta como limo, arcilla, algas, bacterias, virus y coloides que no sedimentaron. La filtración de arena es frecuentemente usada y es un método

muy robusto para eliminar los sólidos suspendidos en el agua. El medio de filtración consiste en múltiples capas de arenas con variedad en el tamaño y gravedad específica. La filtración es el proceso principal en una planta de tratamiento.

Existen en la planta ocho (8) unidades de filtración de dos (2) celdas cada una con filtros rápidos a gravedad, con lecho mixto de arena y antracita. Los falsos fondos están conformados por viguetas prefabricadas en V.

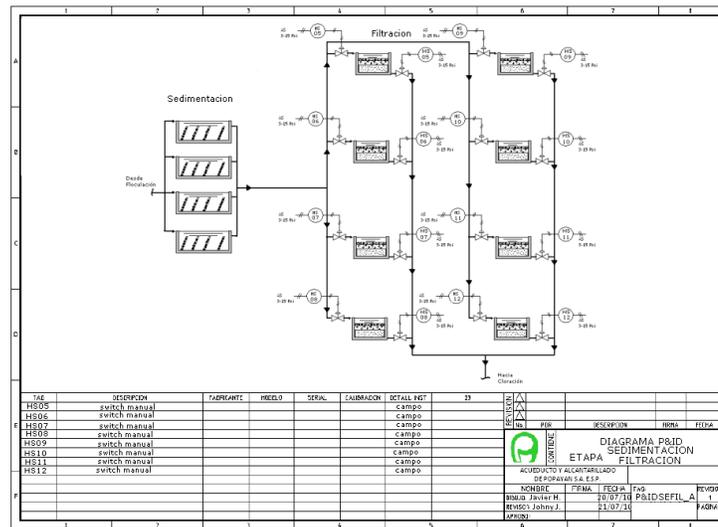
Tabla 25 Características de filtros en la planta El Tablazo

Característica	Valor
Área total de filtración	363.00 m ²
Tasa de filtración	250 m ³ /día
Lecho Filtrante	0.28 m de grava, 5 capas de diferente granulometría.
Medio Filtrante	0.20 m de arena y 0.45 m de antracita.

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Cada unidad de filtración dispone de cuatro canaletas que recogen el agua de lavado, entregando a un canal central que drena por tubería de 16" al canal general, de 1.20x0.80 mts, localizado bajo la galería de conductos La interconexión entre la salida de los filtros y los tanques de almacenamiento se hace mediante un canal cubierto de 0.8 5x0.80mts y de 159.00 mts de longitud, y de una tubería de hormigón reforzado de 36"

Figura 19 Diagrama P&ID filtración actual



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Desinfección o cloración. Este es el procedimiento más usado con el fin de desinfectar el agua, por su sencillez y bajo costo. Consiste en la aplicación directa al agua de sustancias químicas como el gas cloro para las plantas de tratamiento grandes o algunos de sus derivados tales como los hipocloritos de sodio o de calcio en el caso de instalaciones de mediana o pequeña capacidad.

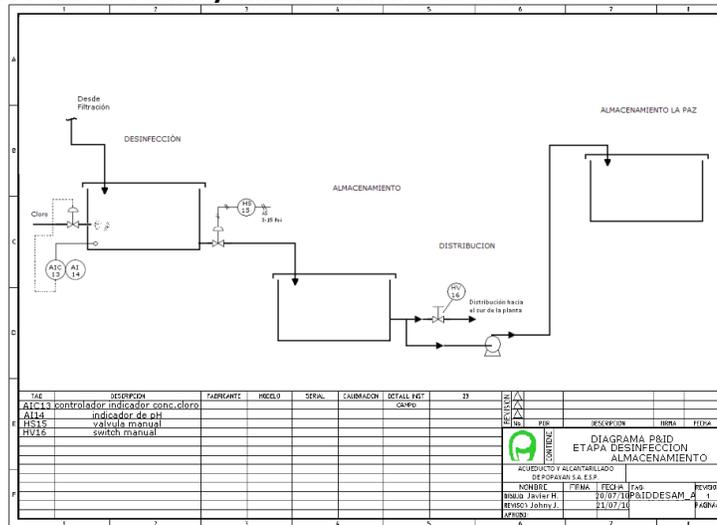
El objetivo de este proceso es destruir pequeños organismos dañinos presentes en el agua como las bacterias o las amebas, para eliminar de ella los agentes patógenos capaces de producir infecciones o enfermedades en el organismo. Además impide que algas y hongos proliferen en las tuberías y depósitos de almacenamiento.

El cloro puede aplicarse como gas o como solución, ya sea solo o con otras sustancias químicas, la cantidad se regula mediante aparatos especiales llamados cloradores y su control es muy importante pues si se sobrepasa ciertas cantidades de cloro, llamado punto mínimo de cloro, se habla de cloración crítica que es dañina para la salud de los consumidores, causando irritaciones en el sistema respiratorio que pueden producir quemaduras y llegar a ser causante de enfermedades como el cáncer.

El tiempo mínimo de reacción del cloro debe ser de 10 a 15 min. Aunque es preferible dejar transcurrir varias horas para garantizar la desinfección efectiva. Las reglamentaciones especifican valores máximos de concentración de cloro que varían según los niveles de acidez (pH) del agua (del orden de 1 mg/l para pH de 6.5 a 7, a 1.8 mg/l para pH de 8 a 9).

De acuerdo a la medida del pH se hace necesario agregar cal hidratada al agua desinfectada. En la planta El Tablazo Se cuenta con dos unidades de cloración y seis tanques de cloro gaseoso de 1 Tonelada. El cloro se aplica por contacto a la salida de los filtros en el canal que comunica a los tanques de almacenamiento. La cal secundaria se aplica mediante dos dosificadores de cal tipo seco, que actúan en forma alterna.

Figura 20 Diagrama P&ID cloración y almacenamiento actual



Fuente: Elaboración propia, Agosto de 2010.

Control de calidad. Para este proceso se realizan análisis físico – químicos mediante examen bacteriológico en laboratorio para determinar la calidad del agua para establecer la presencia de coliformes. En la planta esta localizado en el primer piso del edificio existente, adyacente a la zona de los filtros. Cuenta con todos los equipo para una adecuada operación el laboratorio para agua potable. [13]

Almacenamiento. Tras el proceso de potabilización el agua tratada, ésta se almacena en tanques para su posterior distribución, donde se debe mantener condiciones de temperatura y de nivel, para el buen funcionamiento del resto del sistema.

Junto a la planta existen tres unidades de almacenamiento, cuya cota de servicio es 1799,00 m.s.n.m. En la ciudadela La Paz, al Norte de la planta, se localiza un tanque cuya cota es la 1860,00 m.s.n.m., y se alimenta por bombeo desde la planta El Tablazo

Tabla 26 Capacidad de almacenamiento

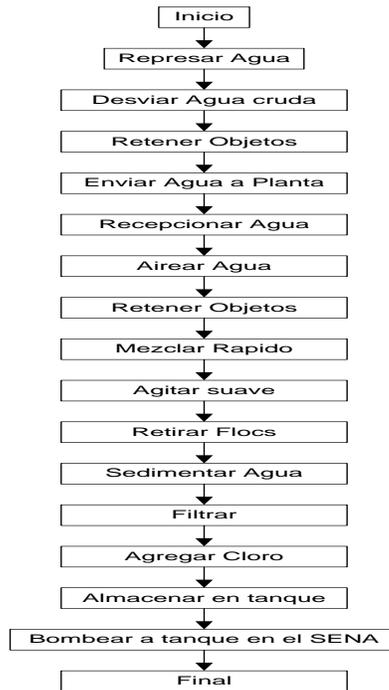
Ubicación	Tanque	Capacidad
El Tablazo	1	1500 m ³
	2	1500 m ³
	3	4000 m ³
La Paz	1	1500 m ³
	2	1500 m ³

Fuente: Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

Modelamiento del proceso de potabilización

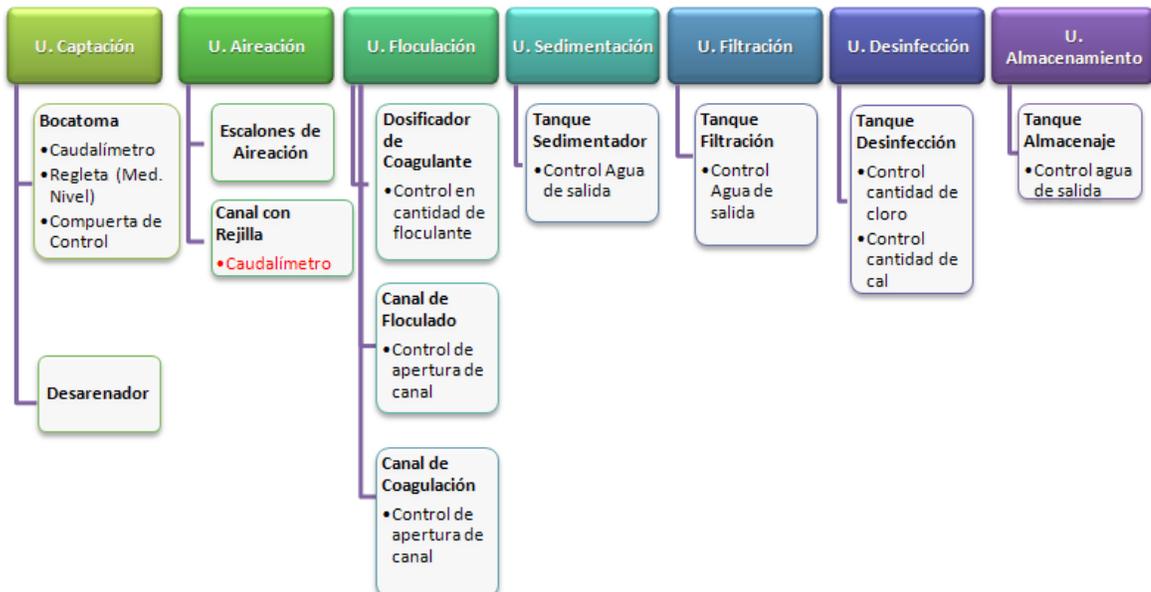
A continuación se muestran los modelos correspondientes para el proceso de potabilización de la planta El Tablazo.

Figura 21 Diagrama de bloques



Fuente: Elaboración Propia, abril de 2010

Figura 22 Modelo Físico



Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010

Tabla 27 Modelo de control procedimental

	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Potabilizar Agua Cruda	Captar Agua Cruda	Desviar Cauce	Accionar compuerta de entrada
		Retener Objetos	Hacer pasar el agua cruda a través de rejilla
		Medir Caudal	Observar regleta
			Registrar Medición
	Desarenar	Conducir Agua al desarenador	
	Airear Agua Cruda	Recepcionar Agua Cruda	Medir caudal
			Comparar con Valor Deseado
			Controlar válvula de paso a planta
		Oxigenar	Verter el agua sobre los escalones
	Retener Objetos	Conducir agua hacia rejilla	
	Flocular	Dosificar Coagulante	Medir y registrar Caudal y Turbiedad
			Calcular cantidad de coagulante
			Graduar salida de coagulante
			Conducir agua hacia tanque Mezcla Rápida
		Coagular	Circular agua por canales de agitación
			Retirar Floccs
	Sedimentar	Llenar Sedimentador	Cerrar válvula de salida
	Filtrar	Reposar Agua	Abrir válvula de ingreso
			Medir nivel del sedimentador
			Comparar nivel con nivel normal de operación
			Cerrar válvula de ingreso
			Cerrar válvula de ingreso de Agua
		Reposar Agua Acondicionar Filtro	Observar perdidas de floculos en el desagüe
			Retirar material floculante
			Medir altura de lodos
	Cerrar válvula de salida		
	Desinfectar	Circular agua por el filtro	Cerrar válvula de drenaje
Calibrar válvula reguladora de caudal			
Abrir válvula de lavado			
Controlar nivel de agua de lavado			
Abrir válvula de paso de agua filtrada			
Circular agua por el filtro Enviar agua a tanque desinfección		Abrir válvula de salida	
		Abrir válvula de paso de agua filtrada	
Almacenar	Aplicar Cloro	Abrir válvula de regulación de cloro	

Tabla 27 (Continuación)

	Procedimiento de Unidad	Operación	Fase
Potabilizar Agua Cruda	Distribución	Aplicar Cloro Supervisar Nivel	Medir concentración de cloro
		Aplicar Cloro Supervisar Nivel	Controlar cantidad de cloro residual
		Supervisar Temperatura	
		Enviar agua al norte de la Planta	Medir nivel tanque SENA
		Enviar agua al sur de la planta	Bombear agua hacia el tanque SENA
		Enviar agua al sur de la planta	Controlar nivel tanque
			Medir Caudal
Enviar agua al sur de la planta	Controlar válvula de salida		
	Enviar agua al sur de la planta	Controlar válvula de salida	

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

Tabla 28 Modelo de proceso

	Etapas de proceso	Operación	Acción
Potabilización de Agua	Captación	Desviación del Agua	Activación de Compuerta de paso de agua
		Retención de Objetos	Conducción de agua a través de rejilla
		Desarenado	Conducción del agua hacia desarenador
	Aireación	Regulación de entrada	Activación de válvula de paso de agua
		Oxigenación	Verter agua en los escalones
		Retención de grandes sólidos	Conducción de agua hacia rejilla
	Floculación	Dosificación de coagulante	Llenar tolva dosificadora con coagulante
			Conducir agua hacia cámara de mezcla rápida
			Aplicación de coagulante al agua
		Coagulación	Circulación de agua por canales de agitación
	Sedimentación	Ingreso de agua al tanque	Retiro de flocs
			Apertura de compuerta

Tabla 28 (Continuación)

Potabilización de Agua	Etapa de proceso	Operación	Acción
	Filtración	Reposo	Cerrar compuerta de salida
		Acondicionamiento del filtro	Cerrar compuerta de entrada
			Llenado de filtro con agua
	Desinfección	Circulación de agua	Ingreso de agua proveniente del sedimentador
		Circulación de agua	Desagüe hasta nivel de operación
			Detener Desagüe
		Llenado de tanque	Salida de agua hacia tanque de desinfección
			Apertura de válvula de ingreso
	Almacenamiento	Aplicación de Cloro	Limpieza del sistema de distribución
Dosificación y aplicación de cloro			
Llenado de tanque		Apertura de válvula de ingreso	
Distribución	Distribución hacia el Norte	Bombeo de Agua hacia Tanque norte	
	Distribución hacia el Sur	Apertura de válvula de salida hacia el sur	

Fuente: Elaboración propia, mayo de 2010.

Análisis de la información y modelos

Tabla 29 Análisis de la información

Actividad	Descripción		
	Características	Unidades de Ingeniería	Valor Admisible
Características especiales para el muestreo	Color verdadero	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	≤15
	Olor y sabor	-	Aceptable
	Turbiedad	Unidades nefelometricas de turbidez (UNT)	≤2
	Sólidos Totales	mg/L	NP
	Conductividad	microohms/cm	≤100
	Carbono Orgánico Total	mg/L	5

Tabla 29 (Continuación)

Actividad	Descripción
Posibilidades de reingeniería	Los sensores de pH Monitex y el transmisor de turbidez marca Hach deben ser reemplazados, están averiados y no tienen la posibilidad de ser comunicados con el resto del sistema. Los transmisores de nivel y de presión, serán incluidos y usados en el proyecto de automatización. Los equipos que controlan las cantidades de cloro se comunicaran con el centro de supervisión.
Reglas para la toma de decisiones	Estas se definieron en el modelo de control procedimental y en el mismo se exponen de forma mas explicita.

Fuente: elaboración propia, Noviembre de 2010.

3.2.1.2 Fase 2 Definición de necesidades específicas. En la planta de tratamiento El Tablazo tras realizar visitas técnicas y entrevistar a los operarios y personas encargadas de la operación de la planta se establecieron las siguientes necesidades, plasmadas en la tabla 30.

Tabla 30 Necesidades de automatización en la Planta de tratamiento el Tablazo

Necesidad	Descripción
Controlar el nivel del agua en toda la planta	En la actualidad el control de esta variable depende de la habilidad del operario de la planta, y se pueden presentar situaciones indeseadas.
Controlar la adición de floculante	La adición de este insumo es clave para la disminución de costos de operación en la planta. El proceso se realiza mediante una prueba manual llamada prueba de jarras mediante la cual se determinan las cantidades de floculante que se debe agregar, los patrones se calculan y se pasan a una maquina dosificadora, que de calibrarse inadecuadamente conlleva al desperdicio de material floculante y el agua debe ser devuelta al rio. El material agregado actualmente es sulfato de aluminio en presentación sólida granular.
Supervisión inasistida y remota de las variables que se necesitan conocer de las bocatomas de la planta	La bocatoma no tiene la supervisión del operario y el cambio drástico de las variables podría alterar las condiciones de operación en la planta de
Tener un sistema para supervisar el actual control de la adición de cloro.	Las variables de esta parte y su control se realizan por medio de equipos especializados con los que actualmente cuenta la planta, lo que se busca es observar el comportamiento de estas variables en un sitio más accesible para los operarios.

Tabla 30 (Continuación)

Supervisar el estado de los elementos de control	Una vez se ha realizado la automatización de la planta es necesario conocer el estado de todos los elementos de control
Reportes diarios del comportamiento de las variables de control y calidad en tiempo real.	Esta información es clave para determinar las características de operación de la planta, cantidades producidas, cantidades consumidas, comportamiento de las variables entre otras características que se desean conocer del comportamiento de la planta.
Falta de visualización de las variables	<ul style="list-style-type: none"> • pH de entrada y salida. • Caudal de entrada y salida con totalizador. • Turbiedad de entrada y salida. • Cloro residual. • Nivel de tanques de almacenamiento. • Nivel en tanques de sedimentación. • Nivel en Bocatoma. • Nivel en tanques de almacenamiento del norte. • Conductividad • Caudal de salida de bocatoma. • Turbiedad en la bocatoma. • Temperatura.
Sistema de lavado de floculadores.	El agua con la que se deben limpiar los floculadores debe ser agua tratada, la operación y el lavado es totalmente manual.
Posibles arranque de las motobombas en vacío y falta de control de nivel de los tanques de almacenamiento en el norte.	Se requiere de la intervención humana para poder determinar el nivel necesario de almacenamiento en los tanques así como su asistencia para el encendido de las motobombas en la planta, el operario debe determinar el correcto arranque y operación de las bombas desde el mismo punto donde ellas están operando evitando además que en el arranque estas inicien operación en vacío.
Falta de alarmas de seguridad por ausencia de falla en alguna de las fases de las motobombas.	Se debe tener mucho cuidado al momento de accionar las motobombas, que tienen motor trifásico, estos motores pueden llegar a averiarse si se operaran en ausencia de una de las fases.
Ausencia de sistema de seguridad	La seguridad para garantizar el correcto comportamiento de la planta es esencial y su inclusión es obligatoria en un proceso que maneja un producto tan delicado como el agua potable de una ciudad.
Ausencia de Sistemas de protección contra descargas eléctricas (rayos).	La zona en la que se instalaran los equipos de automatización tiene alta influencia de descargas eléctricas.

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

A través de entrevistas al personal involucrado en la operación de la planta El Tablazo se recogió la información acerca de sus expectativas con respecto al sistema de automatización y lo que esperan que éste realice una vez esté en operación. Esta información se consiga en la tabla 31.

Tabla 31 Expectativas del sistema de automatización

Cargo	Expectativas
Directivos	Esperan del sistema de automatización, que mediante su implementación se logre disminuir los costos asociados a su operación, principalmente en la etapa de adición de floculantes, con el sistema actual sino se realiza bien la prueba de jarras se desperdicia material. Garantizar a los usuarios agua de excelente calidad de acuerdo a los parámetros establecidos por la legislación actual.
Jefe de Planta	Poder tener un sistema que le permita conocer las mediadas de las variables de control en tiempo real, de manera confiable. Obtener reportes e históricos del comportamiento de la planta automáticamente, que se puedan usar con el fin de llevar los datos estadísticos de la misma y realizar la programación de compras, mantenimientos preventivos así como otras tareas asociadas a su cargo.
Operarios	Tener control centralizado y seguro; pues actualmente deben recorrer toda la planta para poder realizar las acciones de supervisión y control.

Fuente Elaboración propia, julio de 2010.

3.2.1.1.1 Matriz de criterios para la priorización de problemas. Con base en la información suministrada y hallada sobre las necesidades de la planta y teniendo en cuenta las actividades para el desarrollo de la matriz de criterios (ver tabla 6), a continuación se desarrolla la matriz que prioriza las necesidades, tomando como base las más relevantes detectadas en la empresa. Esta se desarrolla en la tabla 32.

Tabla 32 Problemas en la planta El Tablazo

Índice	Localización	Descripción	Característica optima
A	Tanques de sedimentación	Posible rebosamiento de tanques de sedimentación.	Nivel de sedimentadores igual o inferior a 3.85m
B	Floculación	Desperdicio de floculante por mala dosificación.	Dosis óptima de 20mg/L para pH entre 4 y 8.

Tabla 32 (Continuación)

Índice	Localización	Descripción	Característica optima
C	Bocatoma	Cambios bruscos de parámetros de control sin previo aviso.	Nivel inferior a 1.80 m Caudal máximo de salida 900 l/s Turbiedad ≥ 4
D	Cloración	No hay supervisión en la adición de cloro.	Dosis optima de 1 mg/l para pH de 6.5 a 7, a 1.8 mg/l para pH de 8 a 9
E	Planta en general	No se puede tener un control, centralizado y eficaz de la planta.	Supervisión centralizada sin desplazamientos por toda la planta
F	Sistemas de información	Los reportes diarios del rendimiento de la planta son hechos por escrito y luego son pasados a un computador con perdidas de información.	Reportes automáticos en tiempo real
G	Coagulación	El lavado de floculadores se hace de forma manual.	Lavado automático
H	Distribución	Posibles averías en motobombas por ausencia de fase o arranque en vacío. Niveles de tanques de almacenamiento asistido por operario	110 V con respecto a neutro en cada fase. Tanque 1 $\leq 1500\text{m}^3$ Tanque 2 $\leq 1500\text{m}^3$ Tanque 3 $\leq 4000\text{m}^3$ Tanque 1 La Paz $\leq 1500\text{m}^3$ Tanque 2 La Paz $\leq 1500\text{m}^3$
I	Planta en general	Alta incidencia de descargas eléctricas en el sector donde se encuentra la planta.	Diversos puntos de puesta a tierra.

Fuente Elaboración propia, julio de 2010.

Los criterios escogidos para la jerarquización de los problemas con su respectivo peso fueron los siguientes:

Tabla 33 Criterios para la selección de problemas

Peso	Criterio	Descripción	Justificación
30%	Impacto Económico	Es la implicación económica negativa que tiene el problema sobre los costos de producción.	Se le da este valor porque uno de las expectativas de los directivos es reducir los costos de operación, por tanto a mayores costos mayor calificación.

Tabla 33 (Continuación)

Peso	Criterio	Descripción	Justificación
40%	Alcance de la solución	Hace referencia a las implicaciones que tiene solucionar dicho problema sobre todo el proceso de producción	Un problema cuya solución sea compleja de resolver, implicaría que se destinen más recursos para su solución, dejando de atender otros problemas que en conjunto podrían satisfacer adecuadamente a los requerimientos
15%	Tiempo de implementación	Tiempo empleado en solucionar el problema, a un mayor tiempo de solución se tendrá un menor puntaje.	Las paradas en una planta de este tipo son críticas puesto que la potabilización agua está directamente relacionado con el servicio de acueducto.
15%	Factibilidad técnica	Se refiere a la posibilidad real de solucionar al problema desde el punto de vista técnico.	Tener disponibles los recursos tecnológicos disponibles

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Tomando los problemas referenciados en la Tabla 32 se procede a hacer su calificación bajo los criterios expuestos en la Tabla 34, una vez realizada la calificación se procede a determinar su orden de importancia para el proyecto. La información que sirve como base para la calificación de los problemas se encuentra en el anexo 3

Tabla 34 Jerarquización de problemas

Problemas	Criterios	Impacto económico	Alcance de la solución	Tiempo de implementación	Factibilidad técnica	Total
Problema a.		4	7	7	6	5,95
Problema b.		6	9	6	8	7,5
Problema c.		5	7	8	7	6,55
Problema d.		7	5	5	6	5,75
Problema e.		7	4	6	6	5,5
Problema f.		8	6	7	7	6,9
Problema g.		7	7	8	6	7
Problema h.		2	3	4	5	3,15
Problema i.		6	5	6	6	5,6
Problema j.		5	6	7	4	5,55

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

3.2.2 Etapa II Alcance Y Metas

3.2.2.1 Fase 1 Establecimiento de límites y alcance

Límites tecnológicos. El alcance del presente proyecto de automatización en la planta de tratamiento de agua potable El Tablazo son los niveles 1 y 2 definidos bajo el estándar jerárquico establecido en la norma ISA S95 parte I. Las tareas de dichos niveles se describen en las tablas 35 y 36.

Los elementos de este nivel son los sensores que se deben instalar para medir las condiciones del proceso, actualmente las condiciones del proceso se calculan de forma manual por parte de los operarios. Los actuadores corresponden a los elementos que varían dichas condiciones su accionamiento en el momento es totalmente manual.

En el nivel II está la inteligencia del proceso productivo. En él se toman las decisiones de control basadas en la información proveniente de los niveles inferiores y se interactúa directamente con el humano.

Tabla 35 Tareas del nivel 1

Tarea	Descripción
Recolectar datos	Medir y recoger los datos arrojados por las distintas variables de la planta
Determinar Estado Actual	Mediante los datos recolectados se establece el estado del proceso en cada momento.
Acondicionar señales	Las señales obtenidas y transmitidas reciben un tratamiento que se realiza en este nivel.
Coordinar de instrumentos	Los dispositivos requieren de programación e instrucciones que coordine su funcionamiento.
Modificar proceso	A través de los dispositivos denominados actuadores se modifican las condiciones del proceso y a su vez la materia prima.

Fuente: Elaboración propia, junio de 2010

Tabla 36 Tareas del nivel 2

Tarea	Descripción
Controlar proceso	Mantener mediante algoritmos de control, las condiciones de operación esperadas en el proceso de potabilización de agua en la planta de tratamiento El Tablazo.
Detectar anomalías	Detectar condiciones anormales del proceso y ejecutar los correctivos necesarios.
Transmitir información	Se espera en un futuro poder implementar proyectos de automatización que permitan además llevar la información a niveles superiores de la empresa, con el fin de facilitar la labor administrativa de la empresa.
Operar sistema	En este nivel están los dispositivos que permiten al operador del sistema interactuar con él. Ofreciendo además una interfaz grafica agradable para operar el sistema..
Monitoreo del proceso	A través de los algoritmos de control y las señales enviadas desde el nivel inferior se podrá establecer las condiciones del proceso con el fin de tomar los correctivos necesarios.
Algoritmos de control	Tanto las secuencias de los actuadores, los algoritmos a ejecutar serán establecidos desde los dispositivos que se encuentran en este nivel.

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

Límites Económicos. Respecto a los límites de presupuesto, para este caso de estudio no se considera un monto máximo, en la empresa no se ha designado un presupuesto real para el proyecto. Se propone seleccionar tecnologías que cumplan con las características de funcionalidad esperada, sin que ello no implique costos excesivos.

Límite de Tiempo. Una vez la empresa haga la solicitud del proyecto, se tendrá un plazo de 3 meses para la preparación del mismo. El tiempo proyectado para dar solución a las necesidades de la empresa es de 6 meses a partir de la aprobación de la propuesta, siendo este el tiempo máximo que podrá durar la ejecución del proyecto.

3.2.2.1 Fase 2 Definición De Objetivos. De acuerdo a las necesidades expresadas por parte de la empresa, su justificación y los alcances que el proyecto tendrá en la misma, se plantean los objetivos que el proyecto deberá cumplir.

Objetivo General del proyecto de automatización de la Planta El Tablazo

Disminuir los costos de operación, mediante un proyecto de automatización industrial, en la producción de agua potable de la planta de tratamiento El Tablazo del Acueducto de Popayán en un plazo de un (6) meses contados a partir de la aprobación del proyecto.

Objetivos Específicos:

- Disminuir desperdicio de floculante en la etapa de floculación del proceso de tratamiento de agua potable de la planta El Tablazo.
- Mejorar las condiciones laborales de los operarios de la planta de producción de agua potable El Tablazo.
- Incrementar los niveles de seguridad en el tratamiento de agua potable en la planta El Tablazo.
- Disminuir los tiempos de mantenimiento correctivo en los equipos de tratamiento de agua potable en la planta El Tablazo.
- Disminuir los tiempos de respuesta ante situaciones indeseadas en la potabilización de agua, en la planta El Tablazo.

3.2.2.2 Etapa III Propuesta De Solución

3.2.2.2.1 Fase 1 Propuesta de solución. El componente técnico y administrativo de la propuesta de solución se detalla más adelante en la etapa IV del proyecto, por tanto no se considera incluirla en este apartado. Un modelo de propuesta, tal como se presentaría bajo el plan propuesto se muestra en el anexo 7.

3.2.2.3 Etapa IV Documentación Detallada De La Solución

3.2.2.3.1 Fase 1 Documentación y Detalle de la Solución

Especificación Funcional

Descripción del Sistema de Control por Etapas

Consideraciones generales. Todos los actuadores del sistema deben contar con un sistema que permita su operación manual. Esta característica busca mantener la operación normal de la planta en caso de fallas graves del sistema o un corte prolongado del suministro de energía, ante lo cual la planta pueda seguir operando manualmente como en la actualidad, sin afectar el suministro de agua.

Todos los actuadores del sistema deben poder operarse en marcha forzada mediante mandos eléctricos o mediante el software, estos forzamientos deben quedar registrados en el sistema de supervisión central. En el anexo 4 se encuentra una descripción más detallada del sistema de control.

Modos De Operación. El sistema automatizado de potabilización de agua debe trabajar en diferentes modos, de acuerdo a las condiciones presentes en la materia prima. Los diferentes modos de operación se encuentran en el anexo 4.

Operación Funcional. La operación funcional del sistema de automatización propuesto para la planta El Tablazo como fue sugerido se presenta en el anexo 4.

Alarmas. Las alarmas buscan preservar el buen funcionamiento de la planta y dar aviso oportuno a los operarios con el fin de que ellos restablezcan el normal funcionamiento.

En la central de supervisión se debe tener la opción de ingresar a una pantalla desde la cual se podrán verificar el estado de las alarmas de todo el sistema, después de salir

del estado de alarma se debe reconocer manualmente en el supervisorio que se restablecieron las condiciones de normalidad y la alarma fue reconocida. La pantalla debe contar con un controlador de alarmas y eventos que genere un archivo histórico de alarmas el cual tendrá asociado la severidad con que se ha calificado a la variable, hora, fecha, proceso y elemento. Las tablas en las que se definirán las alarmas en cada una de las etapas están consignadas en el anexo 5.

Funcionalidad del sistema

Descripción de las interfaces del operador. El sistema en general será supervisado y controlado desde una estación de supervisión central ubicada en el lugar donde actualmente se encuentran los equipos de supervisión que están fuera de servicio, desde ese punto se podrá revisar el estado de todo el sistema. Esta descripción se realiza con mayor detalle en el anexo 5.

Interfaces del sistema

Detalle de entradas y salidas del sistema de control.

Interfaces con terceros. Se propone para realizar las comunicaciones los siguientes protocolos: RS232, RS485, Ethernet, Modbus. Por tanto se procurara que en la elección de los elementos de control y supervisión como son actuadores, HMI, sensores, PLC y transmisores, cuenten con los respectivos puertos para poder realizar su comunicación

En la tabla 37 se hace una lista de todos los sensores que se requieren para llevar a cabo la implementación del proyecto de automatización propuesto para la planta El Tablazo.

Tabla 37 Relación de sensores

Instrumento	Cant	Dispositivos	Señal	I/O
Turbidímetro	3	Sensor-transmisor de TURBIDEZ	Analógica	Entrada
Sensor de Nivel	4	Sensor-transmisor de NIVEL	Analógica	Entrada
Caudalímetro	3	Sensor-transmisor de CAUDAL	Analógica	Entrada
Sensor de Ph	2	Sensor-transmisor de PH	Analógica	Entrada
Sensor de Temperatura	2	Sensor-transmisor de TEMPERATURA	Analógica	Entrada
Sensor de concentración de cloro	1	Sensor-transmisor de CLORO	Analógica	Entrada
Sensor de presión	1	Sensor-transmisor de PRESIÓN	Analógica	Entrada
Sensor de voltaje	3	VOLTÍMETRO	Analógica	Entrada
Actuadores eléctrico mecánico para válvulas	18	Actuador para válvulas	Analógica	Salida
Variador de frecuencia	3	Variador de frecuencia	Analógica	Salida

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

A continuación en la Tabla 38 se refiere un listado con los elementos que harán parte de la solución hardware y software que se recomienda usar, señalando los sensores que se usaran para la misma. Las diferentes opciones se analizan mediante el uso de matriz de criterios y se encuentran en el anexo 6.

Tabla 38 Selección de elementos para la solución propuesta.

Tipo	Requerimiento	Elemento seleccionado	
		Marca	Modelo
Hardware	Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU1 Y MTU2)	Sigrist	DualScat
	Sensor – Transmisor de Turbidez (MTU3)	SWAN	AMI Turbiwell
	Sensor – Transmisor Nivel (ML1)	E+H	Prosonic FMU40
	Sensor – Transmisor Nivel (ML2, ML3, ML4)	E+H	Prosonic FMU41

Tabla 38 (Continuación)

Tipo	Requerimientos	Elemento	
		Marca	Modelo
Hardware	Sensor – Transmisor de Caudal (MF1)	Rosemount	8705
	Sensor – Transmisor de Caudal (MF2,MF3)	Omega	FD400
	Sensor – Transmisor de Caudal (MF4)	E+H	Prosonic FMU40
	Sensor – Transmisor de pH (MH1,MH2,MH3)	Siemens	Strantrol880
	Sensor – Transmisor de Cloro Residual	Yokogawa	FC400G
	Actuador Electro-Mecánico para válvulas (AEM1,AEM2,AEM3)	Rotork	E1120
	Posicionador Eléctrico Neumático (AEN1)	Burkert	8630
	Variador de Frecuencia (VFD1)	Mitsubishi	D700
	Variador de Frecuencia (VFD2)	Mitsubishi	E700
	Motobomba (BDC1)	Milton Roy	serie G
	PLC gama baja (PLC1)	SIEMENS	S7 200
	PLC gama media (PLC4)	SIEMENS	S7 300
	HMI (HMI1)	Pro-Face	AGP3500
	Adaptadores de Señal (AdS1 y AdS2)	WeirdMuller	WI-I/O 9-2
Software	Software para el sistema de supervisión, adquisición y control	Wonderware	Intouch
	Herramienta para el diseño de la interfaz del HMI	Pro-Face	GP-PRO EX
	Herramienta para la configuración de Redes y la comunicación	Softing	Profibus CT
SIEMENS		S7 MicroWIN	

Fuente: Elaboración propia, Noviembre de 2010

Instalación Del Sistema

Cambios en la planta.

En la Tabla 39 se relacionan los cambios que se deben realizar en la planta para poder implementar el sistema de automatización.

Tabla 39 Cambios en la planta

Etapa	Cambio
Bocatoma	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores.
Aireación	<ul style="list-style-type: none"> • Control de válvula de entrada. • Instalación de botoneras • Cambio de accionamiento de la válvula.

Tabla 39 (Continuación)

Etapa	Cambio
Floculación	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores • Cambio de floculante. • Instalación de botoneras. • Cambio del sistema de adición de floculante.
Sedimentación	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores.
Filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores. • Cambio de accionamiento de las válvulas. • Instalación de botoneras.
Cloración	<ul style="list-style-type: none"> • Cambio del sistema de supervisión.
Almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores.
Distribución	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de sensores. • Cambio de accionamiento de motobombas

Fuente: Elaboración propia, julio de 2010.

Requerimientos de talento humano. Para llevar a cabo el proceso de automatización de la planta el Tablazo se requiere el personal referido en la tabla 40 con sus respectivas funciones.

Tabla 40 Requerimientos de personal

Perfil	Funciones
Ingeniero director	<ul style="list-style-type: none"> • Encargado y responsable del proyecto en su totalidad. • Recibe los reportes de los avances del proyecto para ser presentados a la empresa. • En el caso de ser un equipo interno de la planta este papel puede ser asumido por el jefe de planta.
Ingeniero de software	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza mediante software las secuencias de control necesarias para operar el sistema. • Responsable de la programación como de la parte del diseño de las pantallas de supervisión y la programación de las HMI. • Hace la selección del software.
Ingeniero de hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Responsable de la instalación, calibración, conexión y configuración tanto de los sensores como de los actuadores tanto en la planta, instrumentos instalados en bocatoma y en tanques de almacenamiento. • Encargado del montaje y puesta en funcionamiento de la red de comunicaciones, junto con el ingeniero de software realizara el empalme entre el hardware y el software para asegurar su correcto funcionamiento.

Tabla 40 (Continuación)

Perfil	Funciones
Técnicos	<ul style="list-style-type: none">• Técnicos electricistas para realizar conexión de motores trifásicos y demás elementos que requieran de sus conocimientos especializados, además con estos técnicos se planea el sistema de protección contra descargas eléctricas.• Técnicos instrumentistas, para llevar a cabo las tareas de instalación, calibración, conexión y configuración tanto de los sensores como de los actuadores.• Técnicos en montaje de redes industriales, para montar lo relacionado con la red de comunicaciones tanto de la planta como de los sitios que se encuentran por fuera de la planta y que requieren supervisión.

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010.

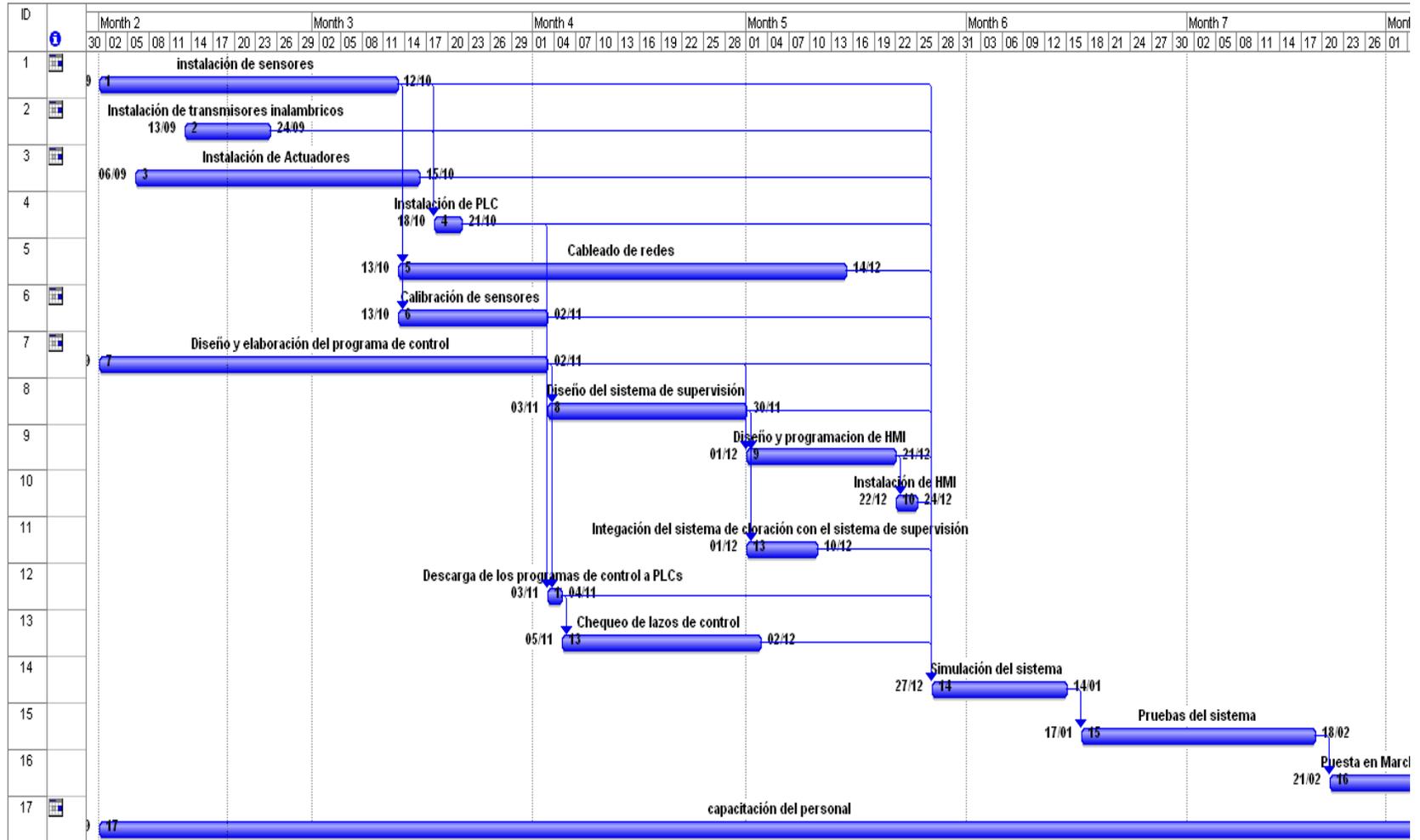
Estándares, metodologías y normas para el hardware y el software. El software usado para el desarrollo de las secuencias de control de los PLC así como estos últimos deben soportar alguno de los lenguajes especificados en la norma IEC 61131-3. Los elementos cumplirán norma NEMA para ambientes corrosivos.

3.2.2.3.2 Fase 2 programa detallado de trabajo. En el anexo 6 se desarrollan las matrices de criterios usadas para realizar la selección de los elementos que recomendados para la implementación de la automatización del proceso de potabilización en la planta El Tablazo, así como las matrices usadas para hacer la selección del software y demás elementos necesarios sugeridos para implementar la solución propuesta.

3.2.2.3.3 Fase 3 Análisis de la información para la instalación. La información necesaria para llevar a cabo el proceso de instalación se encuentra en el anexo 6.

Los prerrequisitos de las actividades son otras actividades al momento de realizar el diagrama de Gantt se debe tener en cuenta los responsables de cada actividad. Las actividades prerrequisito se pueden señalar con facilidad en el programa recomendado. En la figura 26 se establece el diagrama respectivo para realizar la implementación del proyecto de automatización en la planta El Tablazo.

Figura 23 Diagrama de Gantt complementado para las actividades de instalación de la automatización de la planta El Tablazo



Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010

Capacitación del personal. Para llevar a cabo las actividades que corresponden a la capacitación de personal se propone el programa expuesto en la tabla 41.

Tabla 41 Programa de capacitación

Personal	Contenido	Intensidad horaria
Ingeniero	Generalidades de los componentes del sistema de automatización. Parametrización de sensores y actuadores desde el sistema de supervisión Paros de emergencia del sistema y rearmes. Reinicio de reportes. Modificación de parámetros del sistema. Calibración de elementos. Mantenimiento preventivo del sistema. Modificación de alarmas y eventos. Entorno del sistema.	20 horas
Jefe de planta	Mantenimiento preventivo del sistema. Entorno del sistema Revisión Alarmas y eventos. Rearme del sistema. Calibración de elementos. Parametrización del sistema Forzamiento de los actuadores pro software y hardware.	20 horas
Operador	Operación del sistema desde SCADA Cambio de consignas desde el sistema. Lectura de pantallas de alarmas y eventos.	20 horas

Fuente: Elaboración propia, agosto de 2010

Pruebas y entrega del proyecto. Las demás actividades que se deben realizar en la finalización del plan no se desarrollan en esta parte del desarrollo del plan, puesto que para llevarlas a cabo se deben tener ya implementada la solución físicamente, la última parte del plan de implementación corresponde a las pruebas y a la entrega del proyecto.

CONCLUSIONES

- ✓ Realizar un plan para la implementación de un proyecto de automatización no garantiza por sí solo el éxito de un proyecto, depende en gran medida de las decisiones y empeño de los profesionales que lo diseñen y ejecuten. Además de condiciones ajenas y por fuera de control que se deben tener en cuenta, para factores como éstos se debe realizar el control de cambios para tener actividades de contingencia que disminuyan sus consecuencias.
- ✓ Para mejorar la eficiencia del proceso de potabilización de agua en la planta El Tablazo del Acueducto de Popayán, se deben realizar además de los cambios recomendados en este trabajo, ejecutar las mejoras como las recomendadas en trabajos relacionados con la planta, como es el caso del estudio de factibilidad de implementación del policloruro de aluminio como sustituto del sulfato de aluminio tipo b, realizado por estudiantes del programa de ingeniería ambiental.
- ✓ Algunas de las tareas que se recomiendan en el plan de implementación no pueden tener la precisión deseada, esto sucede incluso en planes con mayor nivel de detalle, además de ser engorrosas dichas tareas demandarían demasiado tiempo, como es el caso de la triada de criterios recomendada para establecer los límites del proyecto

- ✓ Tener un conocimiento adecuado de la empresa es determinante para poder realizar una propuesta que se ajuste a las condiciones reales de la empresa, basándose en objetivos alcanzables y límites claramente definidos.

- ✓ La colaboración de profesionales dedicados al diseño y ejecución de planes de implementación es un factor clave en el desarrollo del presente plan, a través de su experiencia se pudieron corregir errores y se obtuvo información de cómo se realizan proyectos de este tipo en la industria, enriqueciendo el contenido de la propuesta.

- ✓ Usar la información de casos similares, además de reducir trabajo a las personas involucradas en un proyecto de automatización, es una fuente de información para realizar los diseños de procesos, maquinas, sistemas de supervisión entre otros múltiples contenidos de un sistema de automatización.

SUGERENCIAS

- ✓ Las pruebas FAT y SAT, mencionadas en la propuesta, son de gran importancia en este tipo de procesos en la industria, se propuso por parte de los asesores expertos en proyectos de automatización, realizar un estudio sobre una metodología para la aplicación de este tipo de pruebas en la industria.
- ✓ Los modelos usados para el modelamiento de la información y el establecimiento de los límites del proyecto se usaron además con el fin de sentar una base de estandarización en la empresa, específicamente en su proceso de potabilización. Se sugiere la realización de un trabajo en este mismo sentido, que proponga una metodología similar a la propuesta, cuyo alcance sean los niveles superiores del modelo jerárquico ISA 95 que no se tuvieron en cuenta en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

[1] MIKLOS, Tomas, TELLO, María Elena. *Planeación interactiva*, editorial limusa-noriega, México 2000.

[2] LÓPEZ, Luis. Planificación estratégica. *Guía para entidades sin ánimo de lucro que prestan servicios de inserción sociolaboral*. España, 2005.

[3] Henry Mintzberg, Joseph B. Lampeo, James Brian Quinn y Sumantra Ghosal. *The Strategy Process: Concepts, Context, Cases* Prentice Hall; 4ta Edición 2002.

[4] M. Orozco; M. Muñoz, "*Ingeniería Básica y del Detalle*", en Proyecto de Automatización I, Notas de Clase. Universidad del Cauca, 2007, pp. 4-32.

[5] A. Kelm, "*Using a Project Management Methodology for a Control System Project*", ISA 2002 Technical Conference Paper, vol. 1, p. 9+, Octubre 2002. [Online]. Available: www.isa.org/CustomSource/ISA/Div_PDFs/PDF_News/Cons_2.pdf . [Accessed Marzo 8, 2010].

[6] Chacon, E; Rondón; Quintero; Rojas. Aplicación del Estándar ISA88 en el Modelado del Proceso de Producción de Azúcar en un Central Azucarero. Seventh LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2009), June 2-5, 2009, San Cristobal, Venezuela.

[7] Rojas, O y Chacón (2007). E. Procesos Batch. Reporte Técnico Laboratorio de Sistemas Discretos y Automatización Industrial - LaSDAI. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

[8] ISA88 (1995). Batch Control, Part 1: Models and Terminology. International Society of Automation.

[9] Project Management Institute. PMBOK® GUIDE, 4ta Ed. Newton Square, PA USA, 2008 [E-Book]

Available: www.willydev.net/.../2008.05.04.tutorial.ingenieria%20del%20software%20-%20gestion%20de%20proyectos-guia%20pmbok.pdf

[10] González ,J y Enríquez ,D (2009). Estudio de factibilidad de implementación del policloruro de aluminio como sustituto del sulfato de aluminio tipo b, en la planta de tratamiento "El Tablazo" de Popayán, Ingeniería ambiental, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia.

[11] Resolución 2115 de 2007, COLOMBIA, Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano Ministerio de la Protección Social Y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Santa Fe de Bogotá, Colombia, junio de 2007. 23p.

Available: <http://www.gobant.gov.co/organismos/gerenciaserviciospublicos/resolucion2115de2007calidaddeaguaantes47598.pdf>

[12] Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual de gestión de la calidad, 2007

[13] Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, COLOMBIA, Manual para la construcción de redes, 2009.

[14] J.A. Montilva, E.A. Chacon y E. Colina, "Un Método Para la Automatización Integral de Empresas de Producción Continua", Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Sistemas, 2001. [Online] Available: <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jonas/Productos/Publicaciones/Revistas/Metodolog%EDaMETASparaAutomatizaci%F3nIntegral.pdf>. [Accessed: Aug 4, 2009].