

Ingeniería de Instrumentación de Plantas de Proceso

Coordinador:
Manuel Bollaín

Volumen 1

I

2



Sección
Española

PRESENTACIÓN

Coincide que este libro ve la luz en la fecha en la que la ASOCIACION ESPAÑOLA DE INSTRUMENTACION Y CONTROL (ISA SECCION ESPAÑOLA) celebra sus 20 años de existencia. Parecería una coincidencia, pero más quiero pensar que Manuel Bollain ha culminado su trabajo de coordinación, promoción y autoría principal del libro pensando también en esa fecha tan importante para ISA SECCIÓN ESPAÑOLA, a cuyo desarrollo tanto ha contribuido. Asimismo, quiero destacar la labor en esta edición de los demás colaboradores, a los que se les reconoce en sus reseñas individuales.

El principal objetivo que este libro es aportar a la comunidad de expertos en automática, instrumentación y control de lengua hispana, un verdadero compendio de conocimiento y experiencia en estas especialidades, tanto en su desarrollo profesional como en proyectos, una vez finalizados sus estudios básicos e incluso cuando están accediendo a los mismos.

En ISA SECCIÓN ESPAÑOLA nos convencimos pronto de esta iniciativa de Manuel Bollain cuando nos propuso acometer esta ingente tarea. No dudábamos de que lo conseguiría, pues al tiempo que fue de los que iniciaron la constitución de esta sección de ISA ESPAÑA, ya entonces conocíamos su gran entusiasmo por transmitir su experiencia y conocimiento a toda nuestra comunidad. Quizás un ejemplo de su entusiasmo por transmitir ese conocimiento es la siguiente anécdota:

Recientemente me correspondía en una universidad española presentar nuestra asociación. Al finalizar, varias decenas de estudiantes de final de carrera me rodearon agradeciendo la difusión de la actividad de ISA ESPAÑA y destacaron su gran admiración por una charla reciente de desarrollo profesional que Manuel Bollaín les había impartido y me manifestaron cómo desearían que esto formara parte de su formación para la inserción profesional en la sociedad.

Desde ISA ESPAÑA esperamos por tanto que este libro sirva también en ese aspecto, al haber incluido en él tanta experiencia y conocimiento. Estoy seguro de que en pocos años será un referente entre nuestra comunidad profesional de habla hispana y traspasará fronteras, como debe ocurrir con cualquier obra que despierte admiración; y a mí me la despertó desde el inicio de la idea de su creación, viéndose confirmada cuando he tenido el libro entre mis manos.

Desde ISA SECCIÓN ESPAÑOLA nuestro agradecimiento a Manuel Bollaín y a todos los que han colaborado en el logro de este libro, que seguro aportará conocimientos en el campo de la instrumentación, logrando el éxito de su difusión.

ARMANDO GONZÁLEZ LEFLER
PRESIDENTE DE ISA SECCIÓN ESPAÑOLA 2018

Introducción, contenido general y uso de la documentación

(Manuel Bollaín)

I. INTRODUCCIÓN

Quisiera informar al lector sobre la forma en que se van a tratar los temas en estos capítulos, especialmente aquellos que han sido escritos por mí.

La Ingeniería es una labor que considero apasionante, dentro de lo que puede caber la pasión en temas técnicos. Una buena parte de su interés reside en la profusión de conocimientos diferentes que implica este trabajo. Como contrapartida, es necesario ser riguroso, preciso y meticuloso en infinidad de detalles. Las materias que siguen se han tratado de exponer en un lenguaje directo y en cierta forma coloquial, sin restar rigor al contenido. En cada concepto se incide en aspectos nacidos de la experiencia adquirida durante muchos años ejerciendo esta profesión. Esto permitirá al lector el percibir mejor el entorno de su trabajo y los conceptos esenciales del mismo.

Observará el lector que diversos temas o conceptos se repiten en diferentes capítulos. Esta duplicidad está justificada por las siguientes razones:

- a. A pesar de ser temas comunes, en cada capítulo se tratan bajo distintas perspectivas que dependen del contenido concreto y finalidad de los capítulos respectivos. De esta forma estos conceptos repetidos quedan mejor definidos en cada contexto.
- b. En ocasiones la repetición resulta justificada para dar a los capítulos respectivos un contenido global que tenga sentido sin tener que acudir a otros capítulos relacionados con la materia correspondiente.

Por último, en diversas ocasiones se ha utilizado información procedente de fuentes escritas en inglés. En estos casos se ha conservado la lengua original, ya que un especialista de ingeniería de plantas de proceso debe estar absolutamente familiarizado con toda la terminología en inglés.

2. CONTENIDO GENERAL

La primera consideración que hay que tener en cuenta es que el libro trata de Ingeniería de Instrumentación en el entorno de las plantas de proceso. Este postulado lleva a las siguientes puntualizaciones:

- No es un tratado de Instrumentación propiamente dicho. Aunque se describen los instrumentos y los sistemas de control, se enfocan los conocimientos a las tareas específicas de ingeniería, ya sea un gran proyecto industrial o en un entorno más reducido y particularizado. Los conocimientos básicos que se incluyen están pues en función de los que se requieren para ejecutar adecuadamente las actividades de ingeniería con ellos relacionadas.
- No es un tratado de ingeniería de control de procesos. De nuevo se han incluido los conocimientos de control imprescindibles para las actividades de ingeniería de instrumentación que están íntimamente relacionadas con los conceptos y sistemas de control de procesos.
- Se ha tratado de que el contenido sea válido tanto para profesionales con experiencia y conocimientos de instrumentación y control como para aquellos lectores que carecen de experiencia y conocimientos previos. Para los primeros, muchos de los conceptos les serán conocidos pero siempre útiles para acometer la lectura de los capítulos en los que estén especialmente interesados.

3. ORGANIZACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN

3.1. Volúmenes

La documentación se ha organizado como se indica a continuación:

En primer lugar se ha distribuido en los siguientes volúmenes:

- **Introducción:** describe el contenido general, cómo está organizada la documentación y cómo hacer uso de ella.
- **Volumen 1:** contiene el conjunto de conocimientos de Ingeniería esencial y de tecnología de instrumentación, sistemas de control, etc., que servirá de base para el desarrollo de la ingeniería.
- **Volumen 2:** describe los conocimientos necesarios de la Ingeniería Básica de los proyectos y que van a incidir en el desarrollo de la Ingeniería de detalle de Instrumentación.
- **Volumen 3:** describe las actividades de ingeniería de la primera fase de los proyectos de instrumentación. Es decir, aquellas destinadas a definir y adquirir todos los instrumentos, equipos, y sistemas necesarios para la planta, fábrica, o unidad de proceso objeto del proyecto. Aporta los conocimientos, recursos, herramientas, utilidades, y ejemplos necesarios para realizar cada una de las actividades.
- **Volumen 4:** describe las actividades de ingeniería de la segunda fase de los proyectos de instrumentación. Es decir, aquellas destinadas a definir toda la información necesaria para montar, instalar, probar, y mantener todos los instrumentos, equipos y sistemas que se definieron y adquirieron en la primera fase. Aporta los conocimientos, recursos, herramientas, utilidades, y ejemplos necesarios para realizar cada una de las actividades.
- **Volumen 5:** contempla las actividades propias de la gestión del proyecto a nivel de Instrumentación. Incluye la gestión de compras, la estimación de horas, planificación, control de horas, control de cambios, etc., y los recursos informáticos correspondientes.
- **Volumen 6:** incluye una serie de programas informáticos y utilidades prácticas en las tareas habituales de instrumentación tales como cálculos de elementos de caudal, válvulas, etc.

3.2. Anexos

Formando parte de los volúmenes se incluyen, en algunos casos, diversos anexos que sirven para agrupar una serie de documentos sobre un tema específico de manera que sea más fácil acceder a esta información para consultarla.

4. RECURSOS Y UTILIDADES

Además de los programas de cálculo, el libro contiene una serie de formatos y utilidades que permiten el realizar todas las actividades de un proyecto, aunque no se disponga de herramientas software específicas. Los formatos están disponibles en Excel, de manera que se pueden exportar e importar datos a través de esta plataforma universal.

5. CÓMO USAR LA DOCUMENTACIÓN

El volumen de información contenida en el libro es muy grande y por tanto no es fácil el conocer el “qué” y el “dónde” está una determinada información que se quiere consultar. Por otra parte, es evidente que no es procedente el leer inicialmente “de un tirón” todo el libro. Sin embargo, si es conveniente conocer el índice general y familiarizarse con la organización de la información.

En el apartado siguiente se describe el uso de las tablas de búsqueda de la información que interese.

Las tablas tienen la siguiente estructura:

- En la primera columna se indican las actividades que el lector quiere realizar. En la segunda se indican los documentos de consulta para tal actividad. En la tercera se detalla el contenido.
- Para facilitar la búsqueda en las tablas se ha tratado de seguir un orden más o menos cronológico de las actividades de un proyecto.

Tabla 1. Actividades iniciales

Actividad	Capítulos	Contenidos
Repaso conocimientos básicos Física y Química	1-1 a 1-8	Conceptos básicos física y química aplicados a la inst. Estados de la materia Termodinámica Mecánica de fluidos, propiedades de los fluidos. Calor Magnitudes eléctricas y electromagnéticas
Repaso conocimientos matemáticos para control	1-9	Conceptos matemáticos para control
Repaso Conceptos básicos de plantas de proceso	1-10 1-11 1-12 1-13 1-14 1-15 1-16 1-17 1-18 1-19 1-20 1-21 1-22	Descripción básica de una planta de proceso Fuentes de energía Sistemas de almacenamiento y transporte Sistemas de vapor, aire, y agua Instrumentación. Generalidades Fundamentos de medida: Precisión, repetibilidad, histéresis Tecnologías medición variables de proceso Selección de instrumentos Elementos finales de control y válvulas de seguridad Selección y montaje de válvulas de control Selección y uso de variadores de velocidad Control de procesos (Básico y avanzado) Control Multivariable
Conocimientos generales sobre sistemas de control	1-23 1-24 1-25	Generalidades sobre sistemas de control SCD PLC
Conocimientos sobre sistemas de transporte de señales	1-26 1-27 1-28 1-29 1-30	Generalidades y Cableado convencional campo - SCD / PLC Foundation Fieldbus (FF) Profibus PA, DP MODBUS RTU Instrumentos "Wireless"
Conocimiento de los sistemas de protección de instrumentos	1-31	Protección del fluido de proceso Protección ambiental Protección frente al riesgo de explosión
Conocimiento de las Normativas aplicables a los proyectos	1-32	Normativa UE y Normativa Americana

Tabla 2. Volumen 2. Ingeniería básica

Actividad	Capítulos	Contenidos
Conocimiento de los conceptos de Ingeniería básica	2-1 2-2 2-3 2-4 2-5	Descripción Proceso, Diagramas Flujo, Balances Materia/Energía y Planos de implantación Diagramas P&ID Datos de proceso Tablas Causa - Efecto Información asociada a Equipos de Proceso
Conocimiento de los conceptos de Ingeniería básica. (Anexos)	2-A1 2-A2 2-A3 2-A4 2-A5 2-A6 2-A7	Anexo 1: Ejemplo de Diagrama de Flujo Anexo 2: Ejemplo de Diagrama P&ID Anexo 3: Conexiones y accesorios de tuberías Anexo 4: Formato Tabla Causa / Efecto Anexo 5: Ejemplo de secuencia proceso batch Anexo 6: Ejemplos de especificaciones de tuberías Anexo 7: Simbología ISA de Instrumentos

Tabla 3A. Volumen 3. Actividades de I^a fase del proyecto. Conceptos generales

Actividad	Capítulos	Contenidos
Actividades de la primera fase del proyecto	3-1 3-2	Proyectos de Instrumentación Revisión de diagramas P&ID
Conceptos generales	3-3 3-4 3-5 3-6 3-7 3-8 3-9 3-10 3-11 3-12	Especificaciones de instrumentación Intercambio de información Base de datos y Lista de Instrumentos Documentación de apoyo para la fase 1 Cálculos de Instrumentación Hojas de Datos Requisiciones (RFQ) y Peticiones de Oferta La gestión de compras de instrumentación Análisis de Ofertas, Requisición de compra y Seguimiento Sistemas de gestión documental

Tabla 3B. Volumen 3. Actividades de 1^a fase del proyecto. Otras actividades

Actividad	Capítulos	Contenidos
Actividades de la primera fase del proyecto	3-13 3-14	Definición de los sistemas de control Listas de señales
Otras actividades	3-15 3-16 3-17 3-18 3-19 3-20 3-21 3-22 3-23 3-24 3-25 3-26 3-27 3-28 3-29	Esquemas de control (lazos) Diagramas Lógicos Estudios de niveles Alimentaciones de aire de instrumentos y consumos Especificaciones de Sistemas de Control (SCDs) Especificaciones de PLCs Requisiciones de Sistemas de Control (SCDs) Proyecto de un SCD Requisiciones de Sistemas de PLCs Sistemas de Seguridad (SIS) Diseño Salas de control Unidades paquete y paneles locales Ingeniería de Sistemas de Análisis Asistencia a pruebas FAT Seguridad informática (Ciberseguridad)
Software corporativo	3-30	Gestión de Producción, Laboratorio, Mantenimiento
Sistema auxiliares	3-31 3-32	F&G UPSs
Realización actividades de la primera fase (Anexos)	3-A1 3-A2 3-A3 3-A4 3-A5 3-A6 3-A7 3-A8	Volumen 3 Anexo 1: Modelos de Especificaciones de Instrumentos Volumen 3 Anexo 2: Ayudas elaboración Hojas de Datos Volumen 3 Anexo 3: Formatos de Hojas de Datos de Instrumentos Volumen 3 Anexo 4: Ejemplos de Requisiciones Volumen 3 Anexo 5: Formato (Ejemplo) de Lista de Instrumentos Volumen 3 Anexo 6: Típicos de esquemas de control (lazos) Volumen 3 Anexo 7: Formato Excel de Lista de Señales Volumen 3 Anexo 8: Hoja de Datos SAI

Tabla 4. Volumen 4. Actividades de 2^a fase del proyecto

Actividad	Capítulos	Contenidos
Realización actividades de la segunda fase del proyecto	4-1 4-2 4-3 4-4 4-5 4-6 4-7 4-8 4-9 4-10 4-11	Generalidades Documentación de apoyo para la fase 2 Diseño pensando en el mantenimiento Planos de situación de instrumentos, bandejas, cajas y red aire Especificaciones de cables y materiales eléctricos Esquemas eléctricos y de interconexiones "Marshaling" electrónico Elaboración de Listas de cables Cálculos de Seguridad Intrínseca Esquemas de conexiónado a proceso y materiales Esquemas de conexiónado neumático y materiales
Documentación de montaje de instrumentos	4-12 4-13 4-14	Requisitos de instalación Especificaciones de montaje Contrato de Montaje y documentación
Actividades de obra	4-15 4-16	Supervisión montaje, pruebas SAT, documentación "as built" Planificación del montajeº
Realización actividades de la segunda fase (Anexos)	4-A1 4-A2 4-A3 4-A4 4-A5 4-A6 4-A7 4-A8 4-A9	Volumen 4 Anexo 1: Formato Lista de Cables Volumen 4 Anexo 2: Tablas de Especificaciones de cables Volumen 4 Anexo 3: Especificación de tuberías de instrumentos Volumen 4 Anexo 4: Típicos de conexiónado a proceso Volumen 4 Anexo 5: Típicos de conexiónado neumático Volumen 4 Anexo 6: Típicos de conexiónado eléctrico Volumen 4 Anexo 7: Ejemplo de precario Volumen 4 Anexo 8: Ejemplos planos implantación instrumentos Volumen 4 Anexo 9: Resumen de actividades de un proyecto

Tabla 5. Volumen 5. Gestión del proyecto

Actividad	Capítulos	Contenidos
Realización actividades de la gestión del proyecto	5-1 5-2 5-3 5-4 5-5	Estimación de horas Planificación Control de horas Control de cambios Recursos informáticos Programa Horas EPC Programa Horas FED Programa de Cálculo de AVANCES

Tabla 6. Volumen 6. Utilidades y varios

Actividad	Capítulos	Contenidos
Herramientas de cálculo (programas y manuales de uso)	6-1 6-2 6-3 6-4 6-5 6-6 6-7 6-8 6-9	General herramientas de cálculo Programa FLOW Elementos de caudal, R.O., y tramos rectos Programa CONTROL VALVES Cálculos válvulas de control Programa SAFETY VALVES Cálculos válvulas de seguridad Programa Cálculo de termopozos Programa Cálculos longitudes cables Programa Determinación rangos de transmisores Programa Estimación de horas Ingeniería Instrumentación Programa Determinación del SIL (Funciones SIS)

AUTORES

Coordinador

MANUEL BOLLAÍN

Ingeniero Aeronáutico.

Consultor de Instrumentación y Control y Procedimientos de Ingeniería.

Durante 20 años trabajó en SENER, donde alcanzó el cargo de Jefe del Departamento de Instrumentación y Control, participando en multitud de proyectos (plantas de proceso y centrales de energía), así como de Defensa.

Posteriormente, también trabajó en Azucarera Española, donde desarrolló un programa de modernización de los sistemas de instrumentación y control de todas las fábricas del grupo a lo largo de ocho años.

Ha sido Director del Centro Operativo de Madrid de TSK durante cinco años.

Posteriormente retomó su actividad en SENER como consultor de proyectos durante tres años.

En la actualidad continúa con actividades de consultor en Intergraph España.

Interviene como profesor en el Master de I&C de ISA-REPSOL y dirige el proyecto que realizan los alumnos.

Fue Presidente de ISA España durante dos años, así como asesor de proyectos de investigación y desarrollo para la Unión Europea.

Autores

ALFONSO CAMACHO LÓPEZ

Ingeniero Técnico.

Amplia experiencia en Instrumentación, Automatización y Control de procesos químicos, Sistemas de Control Distribuido y Sistemas Instrumentados de Seguridad en Refinerías de Petróleo, Plantas Petroquímicas y Central Nuclear.

Ha desarrollado su carrera profesional en el mantenimiento de instrumentación, en el diseño de la instrumentación y el control de unidades de procesos en empresas de ingeniería. Ha sido responsable de la organización y supervisión del montaje, de las pruebas y de la puesta en marcha de la instrumentación de campo, del SCD y del SIS de múltiples unidades de procesos en plantas petroquímicas.

ALMUDENA ÁLVAREZ FERNÁNDEZ

Jefa de Propuestas de Soluciones de Control del Área Sur de Europa en Honeywell Process Solutions.

Licenciada en Ciencias Químicas (Universidad Complutense de Madrid), especialidad Ingeniería Química. Ingeniera de Seguridad Funcional certificada por TÜV.

Posee más de 25 años de experiencia en desarrollos de soluciones de control, en funciones de ingeniero de aplicaciones, soporte técnico a ventas, consultoría y gestión de propuestas de sistemas y soluciones globales de control a nivel nacional e internacional, en la División Industrial de Honeywell. Previamente trabajó en el Departamento de Sistemas de Control de Repsol Petróleo.

Ha pertenecido a la comisión de ISA sección española y actualmente es profesora en el Máster de Instrumentación y Control de Procesos de ISA/REPSOL.

ANTONIO CAMPO LÓPEZ

Ingeniero Técnico.

Comenzó su actividad en las refinerías de Río-Gulf y después en la Ref. de PETRONOR en los primeros años de revisión, puesta en marcha y operación. Posteriormente en el Departamento de Ingeniería de Aplicaciones de Válvulas de Control, en Masoneilan, DRESSER, durante 39 años.

Amplia experiencia en la selección y aplicación de válvulas de control en todos los sectores industriales, principalmente, Energía, Químico, Petroquímico, Papel, Tratamiento de Agua, y otros servicios e industrias en general. Esta actividad incluía labores de asesoramiento en puesta en marcha y mantenimiento posterior.

Autores

Ha publicado varios artículos sobre válvulas de control en revistas técnicas, participa en reuniones técnicas e imparte cursos sobre Válvulas de Control y sus aplicaciones en varias empresas.

Es autor del libro *Válvulas de Control, selección y cálculo*; Editorial Díaz de Santos-Madrid. Colección promovida por ISA-España.

CESÁREO MARTÍN-SANZ

Licenciado en Ciencias Físicas.

Durante 7 años trabajó en SENER como Ingeniero de Procesos desarrollando la Ingeniería Básica de diversos proyectos especialmente en el área de plantas de proceso.

Posteriormente, y durante 32 años, trabajó como Director de Proyectos y Director de Ingeniería en SGAE, creando y dirigiendo el Departamento de Ingeniería, participando en la construcción y mejora de plantas de Azúcar, alcohol y levadura.

EDUARDO IÑIGUEZ

Ingeniero de Telecomunicaciones por la Universidad de Alcalá de Henares.

Ingeniero de sistemas de control de procesos.

Durante 16 años trabajó en Emerson Process Management (Fisher-Rosemount), primero en España y después en Holanda, como ingeniero líder de proyectos de control de procesos, adquiriendo gran experiencia en los sistemas de control Provox y DeltaV, aparte de todas las etapas de la ejecución de proyectos.

En la actualidad trabaja para Shell como ingeniero de sistemas en la refinería del puerto de Rotterdam, centrándose en los sistemas de control de Honeywell, tanto TDC3000 como Experion, además de sus sistemas de seguridad IPS.

FRANCISCO DÍAZ-ANDREU

Ingeniero de Telecommunicación.

Director del Máster de Instrumentación y Control ISA-Repsol. Delegado de ISA España y Vocal de Secciones de Estudiantes del Distrito 12 de ISA.

Ha desarrollado su carrera profesional en Repsol, donde estuvo 20 años en el departamento de Instrumentación y Control Avanzado de Ingeniería, del que fue responsable. También estuvo más de 10 años en el área de Compras, donde ostentó el puesto de Director de Compras y Contratos de Ingeniería.

Fue fundador y primer presidente de la sección española de ISA.

FERNANDO TRUCHARTE

Es Ingeniero Superior Industrial por la ETSII de Madrid.

30 años de experiencia en automatización de procesos industriales a través de reconocidas empresas, tales como Fischer & Porter, Elsag Bailey, Hartmann & Braun, ABB, y en la actualidad SIEMENS.

Comenzó su actividad como ingeniero de aplicaciones y posteriormente como Jefe de Proyecto, Dirección del Departamento de Sistemas de Control y en la actualidad es Responsable Comercial de Soluciones en SIEMENS Industria.

FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ PANDO

BSc in Electrical Engineering Graduado en la Florida Atlantic University, Boca Raton, Florida, USA.

Especializado en el Diseño de Sistemas Complejos Basados en Microprocesadores.

Con una experiencia de 28 años, trabajó en Telvent Tráfico y Transporte y en Indra Sistemas durante 11 años en total, como Jefe de *Proyecto On Site* participando en multitud de proyectos de Sistemas Inteligentes de Tráfico (ITS) para Sistemas Urbanos e Interurbanos, Sistemas de Peaje, Sistemas CCTV para vigilancia de tráfico y Sistemas de Comunicación SDH tanto en España como en China.

Posteriormente, durante 5 años, trabajó en SME como Key Account Manager para el diseño de Infraestructura de Racks para Centros de Proceso de Datos (DataCenters).

Finalmente, durante 12 años en Aplein Ingenieros S.A., donde ha asumido diferentes responsabilidades especializado en el Diseño Ergonómico de Centros de Control Críticos 24/7 de acuerdo a la normativa ISO 11064 “Diseño Ergonómico de los Centros de Control y en la puesta en marcha de Sistemas de Centros de Control en Latinoamérica”.

Ha sido Director de la División de Centros de Control en Aplein Ingenieros durante un par de períodos totalizando 8 años.

En la actualidad continúa como Director de Proyectos Senior para Sistemas de Centros de Control para Latinoamérica y experto en el Diseño Ergonómico de Centros de Control de acuerdo a la ISO 11064.

HÉCTOR DAVID PUYOSA PIÑA

Doctor Ingeniero Industrial. Ingeniero Superior en Telecomunicación. Miembro Senior de ISA.

Experiencia progresiva de más de 30 años en industrias petroleras, petroquímicas y químicas, desempeñando roles de diversos niveles de responsabilidad en proyectos de ingeniería y construcción; mantenimiento y confiabilidad de activos; automatización y control de procesos; mejoras de la productividad, calidad y seguridad de los procesos; gestión y operación de plantas químicas; optimización de la operación y excelencia en la operación; y digitalización e Industria 4.0.

Ha participado en el diseño y construcción de mega proyectos de instrumentación y control, así como en la operación y mantenimiento de esos sistemas para empresas como PDVSA y GE Plastics. Ha contribuido al desarrollo del estándar sobre ciberseguridad ISA-62443, apartado 2-1. Ha contribuido en el desarrollo de propuestas para la certificación y cumplimiento de la ciberseguridad de los componentes de sistemas industriales de control para el Grupo Temático ERNCIP de la Unión Europa.

En la actualidad es el Director de la Gerencia Técnica en el Complejo Industrial de SABIC en España y es Profesor Asociado del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universidad Politécnica de Cartagena.

INMACULADA FERNÁNDEZ DE LA CALLE

Licenciada con Grado en Ciencias Químicas en la Universidad Complutense de Madrid en la Especialidad de Química Industrial y Experta en Seguridad Funcional con certificación vigente (CFSE).

Amplia y reconocida experiencia en Instrumentación y en Seguridad Funcional, actualmente trabaja en TÉCNICAS REUNIDAS, S.A. como adjunta al jefe de departamento de Instrumentación. Durante cinco años estuvo vinculada a Intecsia Industrial en calidad de líder de disciplina.

Realiza labores docentes tanto en su empresa como en ISA España, impartiendo el curso sobre Válvulas de Seguridad y Dispositivos de Alivio y el de Experto en Seguridad Funcional. Es profesora también en el Máster de Instrumentación y Control de ISA España-Repsol.

Es coordinadora y coautora del libro *Sistemas Instrumentados de Seguridad y Análisis SIL*, de la editorial Diaz de Santos.

JOSÉ RAMÓN SALGADO

Hasta su reciente jubilación, su carrera profesional ha pasado por diferentes etapas desarrolladas fundamentalmente en dos Compañías: Repsol Petróleo y Emerson Automation Solutions.

Durante su etapa en la refinería de Repsol petróleo en Tarragona, de 1979 a 1989, ocupó diferentes puestos siempre dentro del área de Instrumentación y Control, llegando en los dos últimos años a ocupar el puesto de Jefe de Instrumentación y Control del área de refinería. A finales de 1989, por motivos familiares, dejó Repsol Petróleo para incorporarse a Emerson Automation Solutions, que por aquel entonces era conocida solo como Rosemount.

En las primeras etapas en Emerson ocupó el puesto de Jefe de Proyectos de Control para el sistema RS3, pasando después al área comercial como Jefe de Producto de Instrumentación y finalizando su vida laboral como Jefe de Ingeniería de Instrumentación.

JULIO RIVAS

Asesor de Grandes Proyectos en la Refinería de Somorrostro de Petronor.

Ingeniero eléctrico. Ha desarrollado su carrera profesional en Petronor. Anteriormente ha sido Jefe de Instrumentación y Electricidad de Mantenimiento y Jefe de Instrumentación de Ingeniería. En los años 90 lideró el proyecto de Reinstrumentación y Digitalización de la refinería y ha estado involucrado en numerosos proyectos de control avanzado.

Jefe del Departamento de Control Avanzado y Sistemas de Producción en la Refinería de Somorrostro de Petronor durante 15 años (1992-2007).

Miembro de ISA-España, perteneció a su comité ejecutivo durante 6 años, de los que 3 fue Presidente. Profesor y asesor del Máster de Instrumentación y Control de Procesos.

MANUEL BOLLAÍN

Ingeniero Aeronáutico.

Consultor de Instrumentación y Control y Procedimientos de Ingeniería.

Durante 20 años trabajó en SENER, donde alcanzó el cargo de Jefe del Departamento de Instrumentación y Control, participando en multitud de proyectos (plantas de proceso y centrales de energía), así como de Defensa.

Posteriormente, también trabajó en Azucarera Española, donde desarrolló un programa de modernización de los sistemas de instrumentación y control de todas las fábricas del grupo a lo largo de ocho años.

Ha sido Director del Centro Operativo de Madrid de TSK durante cinco años.

Posteriormente retomó su actividad en SENER como consultor de proyectos durante tres años.

En la actualidad continúa con actividades de consultor en Intergraph España.

Interviene como profesor en el Master de I&C de ISA-REPSOL y dirige el proyecto que realizan los alumnos.

Fue Presidente de ISA España durante dos años, así como asesor de proyectos de investigación y desarrollo para la Unión Europea.

MIKEL SOLA

Licenciado en Ciencias Químicas, especialidad Química Industrial.

Técnico Senior de Optimización y Control.

Trabaja en la refinería de Petronor en el Departamento de Optimización y Control desde 1994, donde ha ocupado distintas responsabilidades como ingeniero de Control, responsable de Control Avanzado, y responsable de SCD y Aplicaciones, participando en proyectos de reinstrumentación y digitalización de unidades de proceso, instalación de analizadores, así como realizando labores de apoyo en la ingeniería de control básico y puesta en servicio de nuevas unidades. Ha participado asimismo en el desarrollo de aplicaciones de control avanzado y proyectos de instalación y puesta en marcha de controladores multivariados predictivos.

Forma parte del grupo de profesores que imparte el Máster de Instrumentación y Control de Procesos organizado por la sección española de ISA (The International Society of Automation).

RAFAEL GONZÁLEZ MARTÍN

Jefe Departamento Optimización y Control en la Refinería de Somorrostro de PETRONOR (REPSOL). Anteriormente ha ocupado la posición de Jefe de Procesos.

Ingeniero Automática y Electrónica Industrial por la Universidad de Mondragón, Msc. in Control Engineering (UMIST, U.K.) y doctorando en el Departamento de Automática (Facultad de Ciencias-UNED).

30 años de experiencia profesional: 4 en proyectos de Automatización para el Grupo Cooperativo Mondragón y 26 años en Aplicaciones de Optimización y Control en la refinería de PETRONOR. Ha impartido clases de Control de Procesos en la Universidad de Mondragón, actualmente es profesor del Máster de Instrumentación y Control Avanzado de ISA-España, habitualmente imparte cursos y seminarios relacionados con Control Avanzado y Optimización de Procesos.

Industrial Expert acreditado en la Comisión Europea para la valoración de proyectos "Research and Innovation" financiados por el FP7 y H2020. ISA Senior Member. Miembro de la Comisión Ejecutiva de ISA España. Miembro de IFAC Industrial Advisory Board.

RAÚL BLANCO

Ingeniero Industrial

Técnico de Soporte a Operación.

Ha trabajado como Técnico y Jefe de Mantenimiento-Instrumentación en la Refinería de La Coruña 5 años y como Técnico de Control Avanzado en Madrid 5 años. Durante ese periodo ha trabajado con sistemas de control e instrumentación, proyectos de control avanzado multivariable y control básico.

Actualmente da soporte a los técnicos de Operación de las Refinerías de Repsol proporcionando herramientas de apoyo y como Gestor de una comunidad de Práctica.

VIRGINIA CENTENO

Licenciada en ingeniería química; posgrado en gestión de proyectos.

Su trayectoria profesional ha estado focalizada en el área de la instrumentación y control de los sectores refino y petroquímico, especializándose en proyectos EPC y participando tanto en las fases de ingeniería básica y de detalle como en la compra y construcción.

En la actualidad es responsable de instrumentación y control en el sector privado para proyectos de grandes refinerías de Oriente Medio.

ÍNDICE

Presentación.....	V
Introducción, contenido general y uso de la documentación	VII
Autores.....	XIII
VOLUMEN 1. Ingeniería de Proyectos de Instrumentación..... 1	
PARTE PRIMERA. Conceptos generales 3	
1. Ingeniería de Proyectos de Instrumentación. <i>Manuel Bollaín.</i>	5
1. PROYECTOS DE INGENIERÍA	7
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PROYECTOS.....	8
3. ORGANIZACIÓN DE LOS PROYECTOS.....	11
4. EJECUCIÓN DE PROYECTOS	12
5. DOCUMENTACIÓN A ELABORAR EN LOS PROYECTOS DE INSTRUMENTACIÓN.....	14
2. Fundamentos y conceptos básicos. <i>José Miguel Sola Sáez</i>	17
1. UNIDADES Y DIMENSIONES	19
2. CONVERSIÓN DE UNIDADES	19
3. SISTEMAS DE UNIDADES.....	20
4. UTILIDADES Y HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS	20
5. VARIABLES FISICOQUÍMICAS BÁSICAS	21
6. BIBLIOGRAFÍA	25
7. DIRECCIONES WEB DE INTERÉS	25
3. Estados de la materia. <i>José Miguel Sola Sáez</i>	27
1. SISTEMAS DE UNA SOLA FASE.....	29
2. SISTEMAS MULTIFASE	34
3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
4. Termodinámica. <i>José Miguel Sola Sáez</i>.....	39
1. FORMAS DE ENERGÍA	41
2. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA	43
3. BIBLIOGRAFÍA	47
5. Mecánica de fluidos. <i>José Miguel Sola Sáez</i>.....	49
1. ECUACIÓN DE FLUJO.....	51
2. FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO.....	56
3. PÉRDIDA DE CARGA	57
4. COMPENSACIÓN DE MEDIDA DE CAUDALES OBTENIDOS A PARTIR DE ELEMENTOS DE PRESIÓN DIFERENCIAL.....	59
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
6. Calor. <i>José Miguel Sola Sáez</i>.....	63
1. CALOR Y TEMPERATURA	65
2. CALOR ESPECÍFICO	65
3. CALOR SENSIBLE Y CALOR LATENTE	68
4. VAPORIZACIÓN	69
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72

7. Combustión y transmisión de calor. José Miguel Sola Sáez	73
1. COMBUSTIÓN	75
2. TRANSMISIÓN DE CALOR.....	77
3. BIBLIOGRAFÍA	78
8. Conceptos básicos de electricidad. José Miguel Sola Sáez.....	79
1. CORRIENTE ELÉCTRICA: TIPOS	81
2. DENSIDAD DE CORRIENTE.....	81
3. TENSIÓN O DIFERENCIA DE POTENCIAL.....	82
4. RESISTENCIA ELÉCTRICA	82
5. LEY DE OHM	82
6. POTENCIA ELÉCTRICA	83
7. EFECTO JOULE.....	83
8. CIRCUITOS ELÉCTRICOS	83
9. CORRIENTE ALTERNA.....	85
10. BIBLIOGRAFÍA	90
9. Conceptos matemáticos para el control. José Miguel Sola Sáez.....	91
1. NÚMEROS COMPLEJOS	93
2. MODELADO MATEMÁTICO PARA EL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE SISTEMAS	95
3. ÁLGEBRA MATRICIAL	104
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
PARTE SEGUNDA. Conceptos básicos de plantas de proceso	109
10. Descripción de una planta de proceso. José Miguel Sola Sáez	111
1. OBJETIVO Y ARQUITECTURA DE UNA PLANTA DE PROCESO.....	113
2. EQUIPOS UTILIZADOS.....	114
3. BIBLIOGRAFÍA	143
11. Fuentes de energía de una planta de proceso. José Miguel Sola Sáez	145
1. FUENTES DE ENERGÍA.....	147
2. BIBLIOGRAFÍA	150
12. Sistemas de almacenamiento y transporte. José Miguel Sola Sáez.....	151
1. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	153
2. BIBLIOGRAFÍA	155
13. Sistemas de vapor, aire y agua. José Miguel Sola Sáez.....	157
1. SISTEMAS DE VAPOR, AIRE Y AGUA	159
2. BIBLIOGRAFÍA	164
14. Generalidades de instrumentos. Manuel Bollaín	165
1. INTRODUCCIÓN	167
2. TIPOS DE FUNCIÓN.....	167
3. CONCEPTOS DE RANGO Y SPAN	168
4. INSTRUMENTOS CON RANGO Y SPAN AJUSTABLES.....	168
5. TECNOLOGÍA BÁSICA DE TRANSMISORES	169
6. CARACTERÍSTICAS DE INSTRUMENTOS TIPO CONTACTO	173
7. DETERMINACIÓN DEL RANGO DE MEDIDA.....	180
15. Fundamentos de medida: precisión, repetibilidad, histéresis, calibración. Julio Rivas.....	191
1. DEFINICIONES BÁSICAS	193
2. INCERTIDUMBRE, ERROR Y PRECISIÓN	193
3. FACTORES QUE AFECTAN LA PRECISIÓN.....	195
4. CALIBRACIÓN	196
16. Tecnologías de medición de variables de proceso. Manuel Bollaín.....	199
1. INTRODUCCIÓN	201
2. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL DE PROCESOS.....	202
3. VARIABLES DE PROCESO	202
4. PLANTAS DE PROCESO Y ENERGÍA.....	202
5. PRINCIPIOS DE MEDIDA PARA INSTRUMENTOS DE CAUDAL.....	203
6. MEDIDORES MAGNÉTICOS DE CAUDAL.....	209

7. MEDIDORES DESPLAZAMIENTO POSITIVO	210
8. ROTÁMETROS.....	212
9. MEDIDORES POR ULTRASONIDOS.....	213
10. MEDIDORES TIPO DISPERSIÓN TÉRMICA.....	214
11. MEDIDORES TIPO VORTEX	214
12. MEDIDORES MÁSICOS (TIPO CORIOLIS).....	215
13. MEDIDA PARA SEÑAL DE CONTACTO	215
14. MEDIDA DE CAUDAL DE SÓLIDOS.....	216
15. INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA	217
16. TRANSMISORES DE EXPANSIÓN FLUIDA.....	222
17. PIRÓMETROS ÓPTICOS	223
18. MEDIDA PARA CONTACTOS (TERMOSTATOS).....	224
19. INSTRUMENTOS DE PRESIÓN Y PRESIÓN DIFERENCIAL	224
20. INSTRUMENTOS DE NIVEL	226
21. NIVEL DE SÓLIDOS	233
22. MEDIDA DE PH / ALCALINIDAD.....	233
23. MEDIDA DE HUMEDAD EN SÓLIDOS.....	234
24. DETECTORES DE PRESENCIA DE GASES.....	234
25. MEDIDORES DE GASES DE COMBUSTIÓN	235
17. Selección de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>	237
1. GENERAL	239
2. FACTORES A TENER EN CUENTA.....	239
3. REQUISITOS FUNCIONALES BÁSICOS	240
4. ESTADO DEL FLUIDO (LÍQUIDO, GAS, VAPOR, SÓLIDOS)	240
5. CONDICIONES FÍSICAS DEL FLUIDO: LIMPIO, CON SÓLIDOS, PASTOSOS, PULSACIONES, ETC.....	240
6. PRESIONES Y TEMPERATURAS MÁXIMAS DE PROCESO	240
7. REQUISITOS DE “RANGEABILIDAD”	240
8. REQUISITOS DE PÉRDIDA DE CARGA DISPONIBLE	240
9. REQUISITOS DE PRECISIÓN	241
10. ESTABILIDAD Y REPETIBILIDAD	241
11. REQUISITOS DE FLUJO INVERSO.....	241
12. REQUISITOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	242
13. EXPERIENCIA DE USO Y HOMOGENEIDAD	242
14. PRECIO INSTALADO Y “CICLO DE VIDA”	242
15. TABLAS DE SELECCIÓN.....	242
16. SELECCIÓN DE MEDIDA DE CAUDAL	242
17. SELECCIÓN DE MEDIDA DE NIVEL.....	247
18. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE PRESIÓN Y PRESIÓN DIFERENCIAL	249
19. SELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA	249
18. Elementos finales de control y válvulas de seguridad. <i>Manuel Bollaín</i>	251
1. INTRODUCCIÓN	253
2. TIPOS DE ELEMENTOS FINALES DE CONTROL	253
3. DESCRIPCIÓN DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL	254
4. COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE LA VÁLVULA	261
5. CONDICIÓN DE FALLO DE UNA VÁLVULA.....	265
6. CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL	266
7. CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	269
8. ESTANQUEIDAD	269
9. ACCESORIOS.....	270
10. VÁLVULAS DE SEGURIDAD	270
19. Selección y montaje de válvulas de control. <i>Antonio Campo López</i>.....	275
1. INTRODUCCIÓN	277
2. QUÉ DEBE CUMPLIR UNA VÁLVULA DE CONTROL.....	277
3. PROCESO DE SELECCIÓN	278
4. LA SELECCIÓN	281

5. APLICACIONES INDUSTRIALES	283
6. SOBRE EL MONTAJE	285
7. SOBRE EL BY-PASS	286
8. BIBLIOGRAFÍA	286
20. Variadores de frecuencia. <i>Cesáreo Martín Sanz</i>.....	287
1. INTRODUCCIÓN	289
2. EL CONCEPTO PAR/VELOCIDAD/POTENCIA.....	290
3. EL MOTOR ELÉCTRICO	290
4. EL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA	294
5. EL EQUIPO DE PROCESO	294
6. DIMENSIONAMIENTO DE ACCIONAMIENTOS CON REDUCCIÓN MECÁNICA.....	296
7. EJEMPLOS	296
21. Control de procesos básico y avanzado. <i>Rafael González Martín</i>	301
1. INTRODUCCIÓN	304
2. CONTROL BÁSICO	310
3. CONTROL AVANZADO.....	327
4. BIBLIOGRAFÍA	351
22. Control Multivariable. <i>Rafael González Martín</i>	353
1. INTRODUCCION	355
2. NIVELES DE AUTOMATIZACIÓN.....	357
3. TERMINOLOGÍA	357
4. PROCESOS MULTIVARIABLES	363
5. MODELO DINÁMICO DE UN PROCESO	365
6. CÁLCULO DE LA LEY DE CONTROL.....	377
7. PROGRAMACION LINEAL Y RESTRICCIONES.....	383
8. FUNCIONAMIENTO DE UN CONTROLADOR MULTIVARIABLE.....	390
9. OPERACIÓN DE UN CONTROLADOR MULTIVARIABLE	391
10. RESUMEN DE PARÁMETROS DE AJUSTE	393
11. CRITERIOS DE IMPLANTACIÓN	393
12. BIBLIOGRAFÍA	394
PARTE TERCERA. Sistemas de control	395
23. Generalidades sobre sistemas de control. <i>Manuel Bollaín</i>.....	397
1. INTRODUCCIÓN	399
2. CONTROLADORES INDIVIDUALES	400
3. SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO (SCD)	401
4. SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN PLC.....	407
24. Sistemas de Control Distribuido SCD (Distributed Control System). <i>Almudena Álvarez</i>	411
1. INTRODUCCIÓN	413
2. ¿QUÉ ES UN SCD?.....	413
3. ELEMENTOS DE UN SCD. NIVELES DE CONTROL.....	414
4. FUNCIONALIDADES DE CONTROL: CONTROL CONTINUO, CONTROL DISCONTINUO, ENCLAVAMIENTOS, AUTOMATISMOS DE PROCESO, AUTOMATISMOS DE SEGURIDAD	420
5. FUNCIONALIDADES DE OPERACIÓN. INTERFASE HOMBRE MÁQUINA	421
6. ARQUITECTURAS: CENTRALIZADA, DISTRIBUIDA, BASADA EN BUSES DE CAMPO	428
7. INTEGRACIÓN CON OTROS SISTEMAS: COMUNICACIÓN, INTEGRACIÓN, PROTOCOLOS.....	433
8. SIMULACIÓN DE PROCESOS. SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES	434
9. TENDENCIAS EN LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS	435
25. PLC (Controladores Lógicos Programables). <i>Fernando Trucharte</i>.....	437
1. INTRODUCCIÓN. BREVE HISTORIA	439
2. QUÉ ES UN PLC. PRINCIPIOS BÁSICOS	440
3. TIPOS DE PLC.....	442
4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PLC	443
5. LOS PLC DE SEGURIDAD	444
6. APLICACIONES DE LOS PLC.....	447

PARTE CUARTA. Sistema de transporte de señales.....	451
26. Transporte de señales. Generalidades y cableado convencional. <i>Manuel Bollaín</i>.....	453
1. INTRODUCCIÓN	455
2. SEÑALES DE INSTRUMENTOS DE CAMPO	455
3. SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	456
4. SEÑALES CABLEADAS	457
5. ESPECIFICACIONES DE MATERIAL ELÉCTRICO (CABLES, CAJAS, PRENSAESTOPAS).....	458
6. SEÑALES MEDIANTE BUS DE COMUNICACIÓN.....	458
27. Buses de Campo: Foundation Fieldbus. <i>José Ramón Salgado</i>.....	456
1. INTRODUCCIÓN	461
2. ¿QUÉ ES FOUNDATION FIELDBUS?.....	461
3. COMPONENTES DE UNA RED FOUNDATION FIELDBUS.....	462
4. DISEÑO Y TOPOLOGÍA DE SEGMENTOS	465
5. SOFTWARE Y FUNCIONALIDAD	466
6. INTEROPERABILIDAD	470
7. DISEÑO DE SEGMENTOS	470
8. DOCUMENTACIÓN.....	471
28. PROFIBUS DP y PA. <i>Fernando Trucharte</i>	473
1. INTRODUCCIÓN	475
2. FUNCIONAMIENTO DE PROFIBUS	477
3. ARQUITECTURA BASICA	478
4. PROFIBUS DP	480
5. PROFIBUS PA	481
6. COMPONENTES DE RED ACTIVOS.....	482
7. PROFINET EN LA INDUSTRIA DE PROCESOS	484
8. BIBLIOGRAFÍA	486
29. MODBUS. <i>José Ramón Salgado</i>.....	487
1. INTRODUCCIÓN	489
2. PUERTOS SERIE RS232 Y RS485	489
3. PROTOCOLO MODBUS RTU.....	491
30. Instrumentación wireless. <i>José Ramón Salgado</i>	497
1. INTRODUCCIÓN	499
2. ESTÁNDARES IEEE.....	499
3. ZIGBEE	500
4. ISA100.11A	500
5. WIRELESSHART	502
6. ELEMENTOS COMUNES	504
7. VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA WIRELESS.....	508
PARTE QUINTA. Protección de instrumentos. Normativa aplicable a los proyectos. Recursos informáticos.....	509
31. Protección de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	511
1. GENERAL	513
2. PROTECCIÓN RESPECTO AL FLUIDO DE PROCESO	513
3. PROTECCIÓN AMBIENTAL	517
4. PROYECTOS CON NORMAS NEMA	519
5. PROTECCIÓN FRENTE A LAS TEMPERATURAS ALTAS	521
6. PROTECCIÓN FRENTE AL RIESGO DE EXPLOSIÓN	522
7. PROTECCIÓN ELECTROMAGNÉTICA.....	525
32. Normativas aplicables a los proyectos. <i>Virginia Centeno</i>.....	527
1. INTRODUCCIÓN	530
2. DEFINICIONES Y JERARQUÍA	530
3. REGULACIONES Y NORMATIVA DE LOS EE UU	530
4. DIRECTIVAS Y LEGISLACIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA.....	531
5. NORMAS PARA INSTRUMENTOS INSTALADOS EN ÁREAS CLASIFICADAS	533

6. NORMAS PARA EL GRADO DE PROTECCIÓN DE ENVOLVENTES	534
7. NORMATIVA PARA INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE CAUDAL	535
8. NORMATIVA PARA INSTRUMENTOS DE TRANSFERENCIA Y CUSTODIA.....	536
9. NORMATIVA PARA INSTRUMENTOS DE NIVEL	537
10. NORMATIVA PARA INSTRUMENTOS DE PRESIÓN	538
11. NORMATIVA PARA INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA	538
12. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE TUBERÍA.....	539
13. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE TUBERÍAS, EMISIONES FUGITIVAS	540
14. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE CONTROL.....	541
15. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE CONTROL, EMISIONES FUGITIVAS	542
16. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE CONTROL, RUIDO	543
17. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE SEGURIDAD Y ALIVIO	543
18. NORMATIVA PARA VÁLVULAS DE VENTEO	544
19. NORMATIVA PARA MATERIAL DE TUBERÍA Y ACCESORIOS.....	544
20. NORMATIVA PARA BRIDAS Y JUNTAS.....	545
21. ESTÁNDARES NACE	546
22. NORMATIVA PARA CABLES BAJO VOLTAJE	547
23. NORMATIVA PARA LA SEGURIDAD FUNCIONAL.....	547
24. NORMATIVA PARA SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO	548
25. NORMATIVA BUSES DE CAMPO (FIELDBUS)	549
26. NORMATIVA WIRELESS.....	550
27. ACRÓNIMOS	550
33. Herramientas y recursos informáticos. <i>Manuel Bollaín</i>	553
1. INTRODUCCIÓN	555
2. TIPOS DE HERRAMIENTAS.....	555
3. CARACTERÍSTICAS DE ESTE TIPO DE HERRAMIENTAS	561
4. HERRAMIENTAS INTEGRADAS EN EL DISEÑO GENERAL DEL PROYECTO COMPLETO	562
5. CÓMO USAR LAS HERRAMIENTAS.....	565
VOLUMEN 2. Ingeniería básica.....	567
1. Ingeniería Básica. <i>Manuel Bollaín</i>	569
1. INGENIERÍA BÁSICA	571
2. CONTENIDO DE LA INGENIERÍA BÁSICA DEL PROYECTO	571
3. CONCEPTOS BÁSICOS DE INGENIERÍA DE PROCESOS	571
4. CRITERIOS DE DISEÑO.....	572
5. MODOS DE OPERACIÓN	575
6. DIAGRAMAS DE FLUJO.....	576
7. BALANCES DE MATERIA Y ENERGÍA.....	577
8. PLANO DE IMPLANTACIÓN GENERAL	577
9. PLANO DE CLASIFICACIÓN DE ÁREAS	580
2. Diagramas P&ID. <i>Manuel Bollaín</i>	581
1. INTRODUCCIÓN	583
2. GENERALIDADES P&ID (DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTOS)	583
3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS P&ID	585
4. ESPECIFICACIONES DE TUBERÍAS	588
5. AISLAMIENTO	590
6. IDENTIFICACIÓN DE LAS TUBERÍAS	591
7. IDENTIFICACIÓN DE FLUIDOS DE SERVICIOS	592
8. SISTEMAS DE VAPOR	592
9. MATERIALES DE TUBERÍAS	593
10. CONEXIONES DE TUBERÍAS	593
11. SIMBOLOGÍA.....	593
12. SECUENCIA DE GENERACIÓN DE LOS P&ID	596
13. INFORMACIÓN CONTENIDA EN LOS DIAGRAMAS P&ID	597

14. CRITERIOS DE DISEÑO PARA INSTRUMENTACIÓN	602
15. ESTRATEGIAS DE CONTROL	608
16. CRITERIOS DE DISEÑO PARA TUBERÍAS, EQUIPOS Y MANTENIMIENTO	608
17. REPRESENTACIÓN Y NORMAS DE DIBUJO	613
18. P&ID “INTELIGENTES”	617
3. Ingeniería básica: Datos de proceso. <i>Manuel Bollaín</i>.....	621
1. DATOS DE PROCESO. GENERALIDADES	623
2. ORIGEN DE LOS DATOS.....	623
3. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS Y CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	623
4. MODOS DE OPERACIÓN	623
5. UNIDADES DE INGENIERÍA.....	623
6. CONDICIONES BASE Y CONDICIONES DE OPERACIÓN	624
7. PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DISEÑO	624
8. DATOS IMPRESCINDIBLES Y DATOS DESEABLES.....	624
9. TABLAS DE DATOS.....	624
4. Matriz causa / efecto. <i>Manuel Bollaín</i>.....	633
1. INTRODUCCIÓN	635
2. ENCLAVAMIENTOS, CONTROL SECUENCIAL, Y SEGURIDADES	635
3. DEFINICIÓN DE LOS ENCLAVAMIENTOS.....	636
4. MATRIZ CAUSA/EFECTO.....	636
5. ELEMENTOS INICIADORES	637
6. ELEMENTOS ACTUADORES.....	637
7. SECUENCIAS PROCESOS <i>BATCH</i>	638
5. Información asociada a equipos de proceso y sus datos de diseño. <i>Manuel Bollaín</i>	639
1. INTRODUCCIÓN	641
2. INFORMACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROCESO.....	641
3. ESPECIFICACIONES DE EQUIPOS DE PROCESO	642
4. BOMBAS	643
5. COMPRESORES	645
6. HORNOS	646
7. CALDERAS	648
ANEXOS	649
A1. Ejemplo de Diagrama de Flujo. <i>Manuel Bollaín</i>.....	654
A2. Ejemplo de Diagrama P&ID. <i>Manuel Bollaín</i>.....	655
A3. Conexiones de tuberías y accesorios. <i>Manuel Bollaín</i>	659
1. INTRODUCCIÓN	661
2. VÁLVULAS MANUALES.....	661
3. BRIDAS.....	665
A4. Formato Matriz Causa/Efecto. <i>Manuel Bollaín</i>	667
A5. Ejemplo de secuencia proceso <i>batch</i>. <i>Manuel Bollaín</i>.....	671
A6. Ejemplos de especificaciones de tuberías. <i>Manuel Bollaín</i>	675
A7. Simbología ISA de Instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	685
1. INTRODUCCIÓN	687
2. PROPÓSITO	687
3. ALCANCE	688
4. DEFINICIONES.....	688
5. IDENTIFICACIÓN FUNCIONAL.....	690
6. IDENTIFICACIÓN DE LAZO.....	690
7. SIMBOLOS.....	692
A8. Ejemplo de Plano de Clasificación de Áreas. <i>Manuel Bollaín</i>	709

Ingeniería de Instrumentación de Plantas de Proceso

Coordinador:
Manuel Bollaín

Volumen 2

3

4

5

6



Sección
Española

ÍNDICE

Presentación.....	V
Introducción, contenido general y uso de la documentación	VII
Autores.....	XIII
VOLUMEN 3. Actividades de 1^a fase del proyecto	1
PARTE PRIMERA. Conceptos generales.....	3
1. Proyectos de Instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	5
1. INTRODUCCIÓN AL VOLUMEN 3.....	7
2. DOCUMENTACIÓN A ELABORAR EN LOS PROYECTOS DE INSTRUMENTACIÓN.....	8
3. OBJETO DEL PROYECTO	8
4. CONTENIDO DEL PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL	9
5. INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO.....	9
6. LISTA DE DOCUMENTOS Y ACTIVIDADES DE LA PRIMERA FASE.....	10
2. Revisión de diagramas P&ID. <i>Manuel Bollaín</i>	13
1. INTRODUCCIÓN	15
2. REPRESENTACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS Y LAZOS DE CONTROL.....	15
3. SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN KKS	17
4. CORRECTA UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO.....	17
5. INSTRUMENTOS QUE INTERVIENEN EN FUNCIONES SIS	20
6. TIPO DE INSTRUMENTOS Y SU TECNOLOGÍA.....	21
7. P&ID DE UNIDADES PAQUETE	21
3. Especificaciones de instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	23
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO GENERAL Y BASES DE DISEÑO	25
2. ESPECIFICACIONES DE INSTRUMENTACIÓN	25
4. Intercambio de información. <i>Manuel Bollaín</i>	29
1. INTRODUCCIÓN	31
5. Base de datos e índice de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	35
1. GENERAL	37
2. CONCEPTOS BÁSICOS.....	37
3. CAMBIOS Y REVISIONES	38
4. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	38
5. FORMATO DEL ÍNDICE.....	38
6. CONCEPTOS INICIALES	38
7. ELEMENTOS QUE DEBEN INCLUIRSE EN LA BASE DE DATOS.....	38
8. CUMPLIMENTACIÓN DE LOS DATOS	39
6. Documentación de apoyo para la fase 1. <i>Manuel Bollaín</i>.....	43
1. INTRODUCCIÓN	45
2. ACTIVIDADES A REALIZAR EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO	45
3. LISTA DE LA INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA PRIMERA FASE.....	45
7. Cálculos de instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	47
1. INTRODUCCIÓN	49

2. CÁLCULOS QUE PUEDEN SER REQUERIDOS.....	49
3. CÁLCULO DE ELEMENTOS DE CAUDAL	50
4. CÁLCULO DE ORIFICIOS DE RESTRiccIÓN	56
5. CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE VÁLVULAS DE CONTROL	57
6. CÁLCULO Y DIMENSIONADO DE VÁLVULAS DE SEGURIDAD.....	57
7. CÁLCULOS DE TERMOPOZOS.....	57
8. DETERMINACIÓN DEL RANGO DE TRANSMISORES.....	58
9. CÁLCULOS RELACIONADOS CON EL DISEÑO DE LAS INSTALACIONES	58
10. CÁLCULOS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD	58
8. Hojas de datos. <i>Manuel Bollaín</i>	61
1. INTRODUCCIÓN	63
2. GENERAL	63
3. QUIÉN ELABORA LAS HOJAS DE DATOS	63
4. QUÉ INFORMACIÓN SE REQUIERE	64
5. QUIÉN HACE USO DE LAS HOJAS DE DATOS.....	64
6. REVISIÓN DE LAS HOJAS DE DATOS	65
7. CONTENIDO DE LAS HOJAS DE DATOS.....	65
8. FORMATOS DE LAS HOJAS DE DATOS	68
9. ELABORACIÓN DE LAS HOJAS DE DATOS	71
9. Requisiciones. <i>Manuel Bollaín</i>	73
1. GENERAL	75
2. ELABORACIÓN DE REQUISICIONES	75
3. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA AL SUMINISTRADOR	81
10. Las compras de Instrumentación. <i>Francisco Díaz-Andreu</i>	83
1. INTRODUCCIÓN	85
2. ESTRATEGIA DE COMPRAS EN UN PROYECTO.....	85
3. LA PLANIFICACIÓN DE LAS COMPRAS	87
4. EL PROCESO DE COMPRAS	88
5. POSICIONAMIENTO ESTRATÉGICO.....	96
6. AGRUPACIÓN DE REQUISICIONES.....	98
7. ACUERDOS MARCO	98
8. CONTRATOS MAC	100
9. BIBLIOGRAFÍA	101
ANEXO I – COMPARACIÓN TÉCNICA DE OFERTAS.....	103
ANEXO II – COMPARACIÓN TÉCNICA DE OFERTAS EN DETALLE.....	103
11. Análisis de ofertas, requisición de compras y seguimiento. <i>Manuel Bollaín</i>	105
1. INTRODUCCIÓN	107
2. LISTA DE VENDEDORES	107
3. ANÁLISIS TÉCNICO DE OFERTAS	108
4. REVISIÓN TÉCNICA PARA COMPRA	108
5. REVISIÓN DE DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR.....	108
6. INSPECCIONES Y PRUEBAS	109
7. ACTIVACIÓN DEL PEDIDO	109
12. Sistemas de gestión documental. <i>Virginia Centeno</i>	111
1. INTRODUCCIÓN	113
2. GESTIÓN DOCUMENTAL	113
3. SISTEMA ELECTRÓNICO DE GESTIÓN DOCUMENTAL	113
4. VENTAJAS.....	114
5. FACTORES DE ÉXITO	115
6. ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PROYECTO EN UN EDMS	115
7. DISTRIBUCIÓN DE DOCUMENTOS DE INGENIERÍA	116
8. INTERRELACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DOCUMENTAL CON OTRAS BASES DE DATOS.....	118
9. ACRÓNIMOS	119

PARTE SEGUNDA. OTRAS ACTIVIDADES.....	121
13. Definición de los sistemas de control (SCD y PLC). <i>Manuel Bollaín</i>.....	123
1. INTRODUCCIÓN	125
2. INFORMACIÓN NECESARIA EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO	125
3. INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA SEGUNDA FASE DEL PROYECTO	129
14. Elaboración de Listas de Señales. <i>Manuel Bollaín</i>.....	131
1. GENERAL	133
2. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	133
3. CONCEPTOS BÁSICOS.....	133
4. FORMATO DE LAS LISTAS.....	134
5. CAMBIOS Y REVISIONES	134
6. CUÁNDO DEBEN ELABORARSE LAS LISTAS DE SEÑALES	134
7. CLASES DE SEÑALES DE SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO (SCD) Y PLC.....	134
8. CONCEPTOS INCLUIDOS.....	135
9. CUMPLIMENTACIÓN DE LOS DATOS	136
15. Lazos de Control. <i>Manuel Bollaín</i>	141
1. INTRODUCCIÓN	143
2. LAZOS DE CONTROL (INSTRUMENT LOOP DIAGRAMS, ILD)	143
16. Diagramas Lógicos. <i>Manuel Bollaín</i>	145
1. INTRODUCCIÓN	147
2. REPRESENTACIÓN DE LAS FUNCIONES DE ENCLAVAMIENTOS	147
3. ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS LÓGICOS DE ENCLAVAMIENTOS	148
4. PROGRAMACIÓN DE LA LÓGICA	149
5. ELABORACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE CABLEADO.....	149
17. Estudios de Nivel. <i>Manuel Bollaín</i>	151
1. INTRODUCCIÓN	153
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES	153
3. USO DE STAND PIPES (BRIDEL)	153
4. INSTRUMENTOS CON FUNCIONES SIS.....	154
5. ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE NIVEL	154
6. INSTRUMENTOS DE NIVEL EN UNIDADES PAQUETE	155
7. INFORMACIÓN A OTRAS DISCIPLINAS	155
8. EJEMPLOS DE ESTUDIOS DE NIVEL	155
18. Alimentación de aire de instrumentos y consumos. <i>Manuel Bollaín</i>	157
1. INTRODUCCIÓN	159
2. NORMAS DE REFERENCIA	159
3. CRITERIOS GENERALES.....	159
4. RED DE DISTRIBUCIÓN	161
5. CRITERIOS DE DIMENSIONADO	161
6. CRITERIOS DE INSTALACIÓN	163
7. REQUISITOS ESPECIALES	164
8. MANTENIMIENTO DE LA RED DE AIRE DE INSTRUMENTOS	164
19. Especificaciones de un Sistema de Control Distribuido. <i>Almudena Álvarez</i>.....	167
OBJETIVO	169
1. INTRODUCCIÓN. PROPÓSITO DE LA ESPECIFICACIÓN	170
2. ALCANCE DEL SUMINISTRO	170
3. CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	171
4. EQUIPO DCS	173
5. RESERVAS	173
6. RED DE ÁREA DE CONTROL LOCAL, RED DE NEGOCIO E INTEGRACIÓN CON TERCEROS.....	174
7. OPERACIONES REMOTAS	174
8. PRUEBAS DEL SISTEMA	174
9. SERVICIOS EN CAMPO, MANTENIMIENTO Y REPUESTOS.....	174
10. DOCUMENTACIÓN	174

11. ENTRENAMIENTO	175
ANEXOS	176
20. Especificación de un PLC. <i>Fernando Trucharte y Almudena Álvarez</i>.....	177
OBJETIVO	179
1. INTRODUCCIÓN. PROPÓSITO DE LA ESPECIFICACIÓN	179
2. ALCANCE DEL SUMINISTRO	180
3. CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	181
4. EQUIPO PLC	181
5. OPERACIONES REMOTAS.....	185
6. PRUEBAS DEL SISTEMA.....	185
7. SERVICIOS EN CAMPO, MANTENIMIENTO Y REPUESTOS	185
8. DOCUMENTACIÓN	185
9. FORMACIÓN.....	186
ANEXOS	187
21. Requisición de Sistemas de Control. <i>Almudena Álvarez</i>.....	189
1. OBJETIVO	191
2. COMPONENTES DE UNA REQUISICIÓN DE SOLUCIÓN DE CONTROL	191
22. Proyecto de un Sistema de Control Distribuido. <i>Almudena Álvarez</i>	195
1. INTRODUCCIÓN	197
2. FASE PRE-PROYECTO	197
3. FASE PROYECTO	198
4. FASE POST-PROYECTO	204
23. Requisición de un Autómata Programable (PLC). <i>Fernando Trucharte y Almudena Álvarez</i>.....	207
1. OBJETIVO	209
2. COMPONENTES DE UNA REQUISICIÓN DE SOLUCIÓN DE CONTROL BASADO EN PLC	209
3. ENTREGA DE LA OFERTA	211
24. Sistemas de Seguridad (SIS). <i>Inmaculada Fernández de la Calle</i>	213
1. PROCESO DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD.....	215
2. ESTUDIOS HAZOP	217
3. DETERMINACIÓN DEL SIL.....	218
4. PLC DE SEGURIDAD.....	225
5. INGENIERÍA DE LAS FUNCIONES SIL.....	227
6. PRUEBAS.....	242
VERIFICACIÓN SIL CON INSTRUCCIONES	244
VERIFICACIÓN SIL	244
25. Principales consideraciones para el diseño de una sala de control ergonómica y operativa. <i>Francisco J. Sánchez</i>.....	245
1. PRÓLOGO	247
2. DEFINICIÓN DE UNA SALA DE CONTROL	248
3. PLANIFICANDO Y DISEÑANDO UNA SALA DE CONTROL	251
4. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN COLABORATIVA (VIDEO WALL)	253
5. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN BASADO EN RETROPROYECTORES DE 67"	254
6. SISTEMA DE VISUALIZACIÓN BASADO EN PANTALLAS LCD 55"	254
7. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL	257
8. MOBILIARIO TÉCNICO (CONSOLAS DE OPERACIÓN)	257
9. SALA DE CRISIS.....	259
10. SALA DE EQUIPAMIENTO (CPD).....	260
11. ENERGÍA	268
12. REFRIGERACIÓN	269
13. LISTADO DE NORMAS Y ESTÁNDARES DE APLICACIÓN AL DISEÑO DE SALAS DE CONTROL Y CENTROS DE PROCESO DE DATOS (SALA DE EQUIPOS CRÍTICOS)	269
26. Unidades paquete y paneles locales. <i>Manuel Bollaín</i>	275
1. INTRODUCCIÓN	277
2. TIPOS DE UNIDADES PAQUETE.....	277
3. LÍMITES DE SUMINISTRO	278
4. CONTROL DE LA UNIDAD PAQUETE.....	278

5. PANELES LOCALES	278
6. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR DE UNIDADES PAQUETE	280
27. Ingeniería de Sistemas de Análisis. <i>Inmaculada Fernández de la Calle</i>	281
1. TÉCNICAS ANALÍTICAS.....	283
2. DISEÑO SISTEMAS DE MUESTRAS	288
3. CASETAS DE ANALIZADORES.....	291
4. CALIBRACIÓN	293
5. ESPECIFICACIONES.....	293
28. Asistencia a las pruebas FAT. <i>Alfonso Camacho López</i>.....	297
1. PRUEBAS FAT.....	299
2. TRABAJOS A REALIZAR EN LAS FAT DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (SCD)	301
3. PARTICIPANTES EN LAS FAT	308
4. BENEFICIOS POR HACER LAS PRUEBAS FAT	310
29. Seguridad informática de los sistemas de control (Ciberseguridad). <i>Héctor Puyosa</i>	311
1. INTRODUCCION	313
2. VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS DE CONTROL A ATAQUES INFORMÁTICOS	315
3. ELEMENTOS DE UN PROGRAMA DE CIBERSEGURIDAD.....	321
4. MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO Y BUENAS PRÁCTICAS EN CIBERSEGURIDAD.....	322
5. ACTIVIDADES DE CIBERSEGURIDAD EN UN PROYECTO	327
6. BIBLIOGRAFÍA	334
7. ANEXO I.....	335
PARTE TERCERA. Software complementario y corporativo.....	345
30. Gestión de la Producción y Laboratorio. <i>Raúl Blanco</i>.....	347
1. INTRODUCCIÓN	349
2. GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	349
3. LAZOS DE CONTROL EN LA GESTIÓN	352
4. GESTIÓN DE LABORATORIO.....	353
5. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	354
6. SOFTWARE RELACIONADO	354
PARTE CUARTA. Sistemas auxiliares.....	357
31. Sistemas de detección de fuego y gas. <i>Héctor Puyosa</i>.....	359
1. INTRODUCCION	361
2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA F&G	363
3. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	368
4. ACEPTACIÓN DE LA INSTALACIÓN.....	370
5. BIBLIOGRAFÍA	370
32. Sistemas de alimentación ininterrumpida. <i>Héctor Puyosa</i>.....	371
1. INTRODUCCIÓN	373
2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO SAI.....	375
3. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	378
4. BIBLIOGRAFIA	379
5. ANEXOS.....	379
ANEXO 1. Modelos de especificaciones de instrumentos	381
A1.1. Especificaciones de Transmisores de Caudal tipo Coriolis. <i>Manuel Bollaín</i>.....	383
1. GENERAL	385
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	385
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	386
4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	386
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	387
6. SUMINISTRO.....	388
7. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	388

A1.2. Especificaciones de Transmisiones de Caudal por Ultrasonidos. <i>Manuel Bollaín</i>	389
1. GENERAL	391
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	391
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	392
4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	394
5. INDICADORES DE SEÑAL DE SALIDA	394
6. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	394
7. SUMINISTRO	395
8. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	395
A1.3. Especificaciones Placas y Bridas de Orificio. <i>Manuel Bollaín</i>	397
1. GENERAL	399
2. CÁLCULOS	399
3. CRITERIOS DE APLICACIÓN	399
4. PARÁMETROS DE DISEÑO	399
5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	400
6. PLACAS SIMÉTRICAS	401
7. BRIDAS	401
8. TOMAS DE PRESIÓN	401
9. CRITERIOS DE INSTALACIÓN	402
10. SUMINISTRO	403
11. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR	403
A1.4. Especificaciones de Rotámetros. <i>Manuel Bollaín</i>	405
1. GENERAL	407
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	407
3. CONDICIONES DE OPERACIÓN	407
4. CRITERIOS DE INSTALACIÓN	407
5. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	407
6. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	408
7. PLACA DE CARACTERÍSTICAS	408
8. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	408
A1.5. Especificaciones de Transmisores de Caudal Tipo Magnético. <i>Manuel Bollaín</i>	409
1. GENERAL	411
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	411
3. CONDICIONES DE INSTALACIÓN	412
4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	413
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	414
6. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	414
7. SUMINISTRO	415
8. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	415
A1.6. Especificaciones de Transmisores de Caudal Tipo Vortex. <i>Manuel Bollaín</i>	417
1. GENERAL	419
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	419
3. CONDICIONES DE INSTALACIÓN	419
4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	420
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	421
6. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	421
7. SUMINISTRO	422
8. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	422
A1.7. Especificaciones de Termopares, Termorresistencias y Termopozos. <i>Manuel Bollaín</i>	423
1. GENERAL	425
2. TERMOPARES	425
3. TERMORRESISTENCIAS	427
4. TERMOPOZOS	428
5. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR	428

A1.8. Especificaciones de Termómetros. <i>Manuel Bollaín</i>	429
1. GENERAL	431
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	431
3. TERMÓMETROS BIMETÁLICOS	431
4. TERMÓMETROS DE SISTEMAS TÉRMICOS DE LLENADO (FILLED SYSTEM).....	432
5. TERMOPOZOS	432
6. SUMINISTRO.....	432
7. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	432
A1.9 Especificaciones de Termostatos. <i>Manuel Bollaín</i>	433
1. GENERAL	435
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	435
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	435
4. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	435
5. TERMOPOZOS	436
6. SUMINISTRO.....	436
7. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	437
A1.10. Especificaciones de Transmisores Convertidores de Temperatura. <i>Manuel Bollaín</i>.....	439
1. GENERAL	441
2. USO DE LOS TRANSMISORES	441
3. CARACTERÍSTICAS.....	441
4. SUMINISTRO.....	443
A1.11. Especificaciones de Manómetros. <i>Manuel Bollaín</i>.....	445
1. GENERAL	447
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	447
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	447
4. ACCESORIOS.....	450
5. SUMINISTRO.....	450
6. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	450
A1.12. Transmisiones de Presión. <i>Manuel Bollaín</i>	451
1. GENERAL	453
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	453
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	454
4. SELLOS.....	455
5. ACCESORIOS.....	455
6. TRANSMISORES MULTIVARIABLES	456
7. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	456
8. SUMINISTRO.....	456
9. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	457
A1.13. Especificaciones de Transmisiones de Presión Diferencial. <i>Manuel Bollaín</i>.....	459
1. GENERAL	461
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	461
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	462
4. SELLOS.....	463
5. ACCESORIOS.....	464
6. TRANSMISORES MULTIVARIABLES	464
7. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	464
8. SUMINISTRO.....	465
9. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	465
A1.14. Especificaciones de Presostatos. <i>Manuel Bollaín</i>	467
1. GENERAL	469
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	469
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	469
4. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	470
5. CONTACTOS.....	470
6. PRESOSTATOS RECEPTORES NEUMÁTICOS.....	470

7. ACCESORIOS.....	470
8. SUMINISTRO.....	471
9. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	471
A1.15. Especificaciones de Visores de Nivel Tipo Magnético. <i>Manuel Bollaín</i>	473
1. GENERAL	475
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	475
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	475
4. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	476
A1.16. Especificaciones de Nivel Tipo Radar. <i>Manuel Bollaín</i>	477
1. GENERAL	479
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	479
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	480
4. ACCESORIOS.....	481
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	481
6. SUMINISTRO.....	482
7. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	482
A1.17. Especificaciones de Nivel Tipo Vidrio. <i>Manuel Bollaín</i>	483
1. GENERAL	485
2. CRITERIOS DE APLICACIÓN	485
3. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	485
4. ACCESORIOS.....	486
5. DOCUMENTACIÓN DEL VENDEDOR.....	486
A1.18. Especificaciones de Instrumentos de Nivel Tipo Desplazador. <i>Manuel Bollaín</i>	489
1. GENERAL	491
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	491
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	493
4. ACCESORIOS.....	494
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	494
6. SUMINISTRO.....	494
7. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	495
A1.19. Interruptor de Nivel Tipo Flotador. <i>Manuel Bollaín</i>	497
1. GENERAL	499
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	499
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	500
4. SUMINISTRO.....	500
5. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	500
A1.20. Especificaciones de Transmisores de Nivel Tipo Ultrasonidos. <i>Manuel Bollaín</i>	501
1. GENERAL	503
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	503
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES	504
4. ACCESORIOS.....	505
5. TRANSMISORES TIPO “FIELDBUS”	505
6. SUMINISTRO.....	506
7. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR	506
A1.21. Especificaciones de Válvulas de Control. <i>Manuel Bollaín</i>	507
1. GENERAL	509
2. NORMAS DE REFERENCIA	509
3. TIPO BÁSICO.....	510
4. CÁLCULO Y DIMENSIONADO	510
5. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA VÁLVULA	513
6. RUIDO Y VELOCIDAD	513
7. CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	514
8. ESTANQUEIDAD	514
9. CUERPO Y PARTES INTERNAS	515

10. DIRECCIÓN DEL FLUJO.....	517
11. ACTUADOR	517
12. MATERIALES	517
13. CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LA VÁLVULA.....	518
14. CONDICIONES DE INSTALACIÓN	519
15. ACCESORIOS.....	520
16. IDENTIFICACIÓN	521
A1.22. Especificaciones de Válvulas de Seguridad. <i>Manuel Bollaín</i>.....	523
1. GENERAL	525
2. NORMAS DE REFERENCIA	525
3. TIPO BÁSICO	526
4. CÁLCULO Y DIMENSIONADO	526
5. TIPOS DE VÁLVULAS	527
6. MATERIALES	527
7. ACCESORIOS.....	528
8. INSPECCIÓN	528
9. PINTURA.....	528
10. IDENTIFICACIÓN	528
ANEXO 2. Ayuda elaboración Hojas de Datos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	529
1. INTRODUCCIÓN	530
2. DOCUMENTACIÓN NECESARIA.....	530
3. TABLAS DE AYUDA.....	530
Tabla HD Transmisor Presión Diferencial	531
Tabla HD Manómetros.....	531
Tabla HD Placas Orificio.....	531
Tabla HD Presostatos.....	531
Tabla HD Termómetros.....	531
Tabla HD Visores Nivel	531
ANEXO 3. Formatos de Hojas de Datos de Instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>	533
HDF-01 Rotámetro.....	535
HDF-02 Caudalímetro magnético.....	535
HDF-03 Caudalímetro tipo Coriolis	535
HDF-04 Transmisor Caudal Presión Diferencial.....	535
HDF-05 Placas y Bridas de Orificio.....	535
HDF-06 Caudalímetros Tipo Ultrasonidos	535
HDL-01 Transmisor de Nivel por Desplazador.....	535
HDL-02 Transmisor de Nivel por Presión Diferencial	535
HDL-03 Visor de Nivel de Vidrio	535
HDL-04 Interruptor de Nivel por Flotador	535
HDL-05 Indicador Magnético de Nivel.....	535
HDL-06 Transmisor de Nivel Tipo Nuclear.....	535
HDL-07 Transmisor de Nivel Tipo Radar.....	535
HDL-07 WL Transmisor Radar Wireless	536
HDL-08 Interruptores Vibratorios	536
HDL-09 Transmisor de Nivel Tipo Ultrasonidos	536
HDP-01 Manómetro.....	536
HDP-02 Transmisor de Presión	536
HDP-03 Presostato.....	536
HDT-01 Termómetros Bimetálicos.....	536
HDT-02 Transmisor de Temperatura con Elementos	536
HDT-03 Termostato.....	536
HDV-01 Válvula de Control.....	536
HDV-02 Válvula de Seguridad.....	536

ANEXO 4. Ejemplos de Requisiciones. <i>Manuel Bollaín</i>	537
1. EJEMPLO DE REQUISICIÓN DE MANÓMETROS Y TERMÓMETROS.....	539
2. EJEMPLO DE REQUISICIÓN SIMPLIFICADA DE MANÓMETROS Y TERMÓMETROS.....	541
ANEXO 5. Ejemplo de Índice de Instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	543
ANEXO 6. Lazos de Control típicos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	545
ANEXO 7. Formato de Listas de Señales. <i>Manuel Bollaín</i>	551
ANEXO 8. Hoja de Datos SAI. <i>Manuel Bollaín</i>.....	553
VOLUMEN 4. Generalidades de 2^a fase del proyecto	557
PARTE PRIMERA. Conceptos generales.....	559
1. Segunda fase del proyecto. <i>Manuel Bollaín</i>.....	561
1. INTRODUCCIÓN	563
2. DOCUMENTACIÓN DE INSTALACIÓN Y MONTAJE.....	563
3. ELABORACIÓN DE LA DOCUMENTACIÓN DE PROYECTO.....	564
4. COMPROBACIÓN CIRCUITOS DE SEGURIDAD INTRÍNSECA	566
5. PLANOS DE PANELES LOCALES	566
6. ESQUEMAS DE CONEXIONADO A PROCESO.....	567
7. ESQUEMAS DE TRACEADO	570
8. ESQUEMAS DE CONEXIONADO NEUMÁTICO	570
9. DISTRIBUCIÓN DE LAS ALIMENTACIONES DE AIRE.....	571
10. INGENIERÍA DE DETALLE DE LOS SISTEMAS DE CONTROL.....	572
11. LISTAS DE MATERIALES DE MONTAJE.....	575
12. USO DE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.....	576
2. Información de apoyo para la fase 2. <i>Manuel Bollaín</i>	577
1. INTRODUCCIÓN	579
2. INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA SEGUNDA FASE DEL PROYECTO	579
3. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDORES DE INSTRUMENTACIÓN	590
4. DOCUMENTACIÓN DE VENDEDOR DE SISTEMAS DE CONTROL	591
3. Diseño pensando en el mantenimiento. <i>Alfonso Camacho López</i>	595
INTRODUCCIÓN	597
GENERAL	598
1. ACTUACIÓN EN EL DISEÑO MECÁNICO.....	599
2. ACTUACIÓN EN EL DISEÑO ELÉCTRICO	612
3. ACTUACIÓN SOBRE LA FORMACIÓN DEL PERSONAL DE MANTENIMIENTO.....	616
4. ACTUACIÓN SOBRE LA OPTIMIZACIÓN DE LOS REPUESTOS. ESTANDARIZACIÓN.....	620
5. SISTEMAS DE GESTIÓN DE DATOS PARA MANTENIMIENTO	622
6. ARCHIVO Y MANEJO DE DATOS.....	625
4. Elaboración de Planos de Implantación de Instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>.....	627
1. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS	629
2. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	630
3. CRITERIOS BÁSICOS	630
4. USO DE LOS PLANOS DE LOCALIZACIÓN	631
5. ESTRUCTURA DE LOS PLANOS	631
6. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN	632
7. INFORMACIÓN ADICIONAL QUE DEBEN INCLUIR LOS PLANOS.....	637
8. PLANOS DE LOCALIZACIÓN DE INSTRUMENTOS NEUMÁTICOS	641
9. DETALLES CONSTRUCTIVOS	642
10. INCORPORACIÓN DE INFORMACIÓN EN LA BASE DE DATOS DE INSTRUMENTACIÓN	642

5. Especificaciones de materiales eléctricos de instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	645
1. GENERAL	647
2. CABLES	647
3. BANDEJAS	649
4. TUBO CONDUIT	649
5. CAJAS DE CONEXIÓN	649
6. PRENSAESTOPAS	651
APÉNDICE.....	652
6. Esquemas de conexionado eléctrico de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>	657
1. INTRODUCCIÓN	659
2. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	659
3. CRITERIOS BÁSICOS	660
4. USO DE LOS ESQUEMAS DE CABLEADO	660
5. ESTRUCTURA DE LA DOCUMENTACIÓN DE LOS ESQUEMAS	660
6. PROCEDIMIENTO DE ELABORACIÓN	660
7. ESQUEMAS DE INTERCONEXIONES	665
8. COMPARACIÓN DE REPRESENTACIÓN DE LOS ESQUEMAS	667
9. ESQUEMAS COMPLEMENTARIOS	668
10. LISTAS DE ESQUEMAS	668
11. ESQUEMAS DE CABLEADO PLANTAS DE ENERGÍA	668
12. ESQUEMAS DE CABLEADO MEDIANTE HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.....	669
7. Marshalling electrónico. <i>Eduardo Iñiguez</i>	671
1. INTRODUCCIÓN	673
2. VENTAJAS.....	676
3. ASPECTOS TÉCNICOS.....	678
4. OTROS PROVEEDORES	682
5. ESTIMACIONES DE AHORRO	683
6. CONCLUSIONES	684
7. BIBLIOGRAFÍA	685
8. Elaboración de Listas de Cables. <i>Manuel Bollaín</i>.....	687
1. GENERAL	689
2. CONTENIDO DEL MÉTODO	689
3. DOCUMENTACIÓN REQUERIDA	689
4. CONCEPTOS BÁSICOS.....	690
5. FORMATO DE LAS LISTAS	690
6. CAMBIOS Y REVISIONES	690
7. CUANDO DEBEN ELABORARSE LAS LISTAS DE CABLES	690
8. OTROS MATERIALES ELÉCTRICOS DE INSTRUMENTACIÓN	691
9. CONCEPTOS A INCLUIR EN LA LISTA DE CABLES	691
10. CUMPLIMENTACIÓN DE LOS DATOS	691
11. LISTA DE CABLES PARA COMPRAS	695
12. INFORMACIÓN A INCORPORAR EN LA BASE DE DATOS DE INSTRUMENTACIÓN	695
9. Cálculos de Seguridad Intrínseca. <i>Virginia Centeno</i>	697
1. INTRODUCCIÓN	699
2. CÁLCULOS DE SEGURIDAD INTRÍNSECA. OBJETIVO Y UTILIDAD.....	699
3. INFORMACIÓN NECESARIA	699
4. ¿CÓMO SE REALIZA EL CÁLCULO PREVIO PARA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO? EJEMPLIFICADO	700
5. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO	701
6. ¿CUÁNDO SE REALIZA LA VERIFICACIÓN DEL DISEÑO?	702
7. CONCEPTOS	702
8. REFERENCIAS	703
10. Esquemas de conexionado a proceso. <i>Manuel Bollaín</i>	705
1. INTRODUCCIÓN	707
2. ESQUEMAS DE CONEXIONADO A PROCESO	707
3. MATERIALES DE MONTAJE.....	707

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESQUEMAS	709
5. SELECCIÓN DE LOS ESQUEMAS	711
6. ESQUEMAS DE TRACEADO (<i>STEAM TRACING</i>)	711
11. Esquemas de conexionado neumático. <i>Manuel Bollaín</i>	713
1. INTRODUCCIÓN	715
2. DISTRIBUCIÓN DE LAS ALIMENTACIONES DE AIRE	715
3. ESQUEMAS DE CONEXIONADO NEUMÁTICO	716
4. MATERIALES DE MONTAJE	716
5. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESQUEMAS	717
6. SELECCIÓN DE LOS ESQUEMAS	717
7. ESQUEMAS REALIZADOS MEDIANTE HERRAMIENTA INFORMÁTICA	718
PARTE SEGUNDA. Documentación de montaje de instrumentos	719
12. Requisitos de Instalación. <i>Manuel Bollaín</i>	721
1. INTRODUCCIÓN	723
2. CORRECTA UBICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO	723
3. TRAMOS RECTOS	725
4. POSICIÓN DE INSTALACIÓN	729
5. INSTRUMENTOS DE PRESIÓN Y PRESIÓN DIFERENCIAL	732
6. INSTRUMENTOS DE NIVEL	734
7. VÁLVULAS DE CONTROL	735
8. ACCESIBILIDAD	736
9. REQUISITOS DE INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE DE INSTRUMENTOS	737
13. Especificación de montaje de instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	739
1. INTRODUCCIÓN	741
2. REQUISITOS DE INSTALACIÓN	741
3. INSTALACIÓN MECÁNICA	741
4. CONEXIONADO NEUMÁTICO	748
5. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	748
6. CLASIFICACIÓN DE ÁREAS	749
7. INSTALACIÓN	750
8. SEPARACIÓN DE LOS CABLES DE INSTRUMENTOS	753
9. SEGREGACIÓN DE SEÑALES	754
10. PUESTA A TIERRA DE EQUIPOS Y CIRCUITOS	755
11. PROTECCIÓN CONTRA LA HUMEDAD	755
12. ESPECIFICACIONES DE MATERIALES ELÉCTRICOS Y CABLES DE INSTRUMENTOS	755
13. IDENTIFICACIÓN Y MARCADO	756
14. Contrato de montaje de instrumentación. <i>Manuel Bollaín</i>	757
1. INTRODUCCIÓN	759
2. CONCEPTOS GENERALES	759
3. MODALIDADES DE CONTRATO	759
4. CONTENIDO DEL CONTRATO	759
5. PRECIARIO	760
6. DOCUMENTACIÓN DE MONTAJE	761
7. COMENTARIOS ADICIONALES	762
PARTE TERCERA. Actividades de obra	763
15. Supervisión de montaje. Asistencia a pruebas SAT. Documentación <i>As Built. Alfonso Camacho López</i>	765
1. SUPERVISIÓN DEL MONTAJE. PRUEBAS PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA	767
2. SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO	773
3. DOCUMENTACIÓN COMO CONSTRUIDO <i>AS BUILT</i>	784
16. Planificación del montaje de instrumentación. <i>Alfonso Camacho López</i>	787
1. PLANIFICACIÓN DEL MONTAJE. GENERAL	789
2. MONTAJE DE INSTRUMENTACIÓN	795

ANEXOS	799
A1. Formato lista de cables. <i>Manuel Bollaín</i>	801
FORMATO LISTA DE CABLES	803
A2. Especificaciones de cables de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>	805
TABLAS ESPECIFICACIONES DE CABLES DE INSTRUMENTOS.....	807
A3. Especificaciones de materiales de tuberías de instrumentos. <i>Manuel Bollaín</i>	825
1. CONTENIDO	827
2. BASES DE DISEÑO	827
3. ESPECIFICACIONES PARA CONEXIONADO A PROCESO.....	827
4. MATERIALES PARA ALIMENTACIONES Y SEÑALES DE AIRE	832
A4. Típicos de conexionado a proceso. <i>Manuel Bollaín</i>	833
ESQUEMAS CONEXIONADO A PROCESO	875
A5. Típicos de conexionado neumático. <i>Manuel Bollaín</i>	837
ESQUEMAS CONEXIONADO NEUMÁTICO	839
A6. Típicos de conexionado eléctrico. <i>Manuel Bollaín</i>	841
A7. Ejemplo de preciario. <i>Manuel Bollaín</i>	847
EJEMPLO DE PRECIARIO	849
A8. Planos de localización. <i>Manuel Bollaín</i>	851
SITUACIÓN CAJAS Y ZANJAS HOJA 1	853
SITUACIÓN CAJAS Y ZANJAS HOJA 2	854
SITUACIÓN COLECTORES AIRE HOJA 1.....	855
SITUACIÓN COLECTORES AIRE HOJA 2.....	856
SITUACIÓN INSTUMENTOS ANALÓGICOS HOJA 1	857
SITUACIÓN INSTUMENTOS ANALÓGICOS HOJA 2	858
SITUACIÓN INSTRUMENTOS DIGITALES HOJA 1	859
SITUACIÓN INSTRUMENTOS DIGITALES HOJA 2	860
SITUACIÓN INSTRUMENTOS TEMPERATURA HOJA 1	861
SITUACIÓN INSTRUMENTOS TEMPERATURA HOJA 2	862
SITUACIÓN VÁLVULAS SOLENOIDE HOJA 1	863
SITUACIÓN VÁLVULAS SOLENOIDE HOJA 2	864
A9. Resumen de actividades de un proyecto. <i>Manuel Bollaín</i>	865
1. INTRODUCCIÓN	867
2. LISTA DE ACTIVIDADES / DOCUMENTOS.....	867
VOLUMEN 5. Gestión de Proyectos.....	873
1. Gestión de proyectos. <i>Inmaculada Fernández</i>.....	875
1. ESTIMACIÓN DE HORAS	877
2. PLANIFICACIÓN	882
3. CONTROL DE HORAS.....	889
4. CONTROL DE CAMBIOS Y REVISIONES	890
5. RECURSOS INFORMÁTICOS	891
VOLUMEN 6. Utilidades	893
1. Instrucciones programa FLOW. <i>Cesáreo Martín Sanz y Manuel Bollaín</i>	895
1. INTRODUCCIÓN	897
2. INSTRUCCIONES	897
3. AYUDAS PARA CÁLCULOS.....	900
4. SELECCIÓN DE TIPO DE TOMAS.....	901
5. SELECCIÓN DE VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO	902
6. CÁLCULO DE TRAMOS RECTOS	903
CÁLCULO FLOW.....	903
2. Instrucciones programa CONTROL VALVES. <i>Cesáreo Martín Sanz y Manuel Bollaín</i>.....	905
1. INTRODUCCIÓN	907
2. INSTRUCCIONES	907

3. PARÁMETROS QUE AFECTAN AL CÁLCULO DE LA VÁLVULA	909
4. AYUDAS PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE UN GAS	910
5. CRITERIOS PARA LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO	911
CÁLCULO CONTROL VALVES	912
3. Instrucciones programa SAFETY VALVES. <i>Cesáreo Martín Sanz</i>.....	913
1. INTRODUCCIÓN	915
2. FLUIDO COMPRESIBLE AP (<i>HP COMPRESSIBLE FLUID</i>)	915
3. FLUIDO NO COMPRESIBLE AP (<i>HP NON COMPRESSIBLE FLUID</i>).....	917
4. VÁLVULA DE ALIVIO DE PRESIÓN Y ROMPEDORAS DE VACÍO (<i>LP VENT VALVES</i>)	917
CÁLCULO SAFETY VALVES.....	918
4. Instrucciones programa LONGITUDES DE CABLE. <i>Manuel Bollaín</i>	919
1. INTRODUCCIÓN	921
2. INFORMACIÓN REQUERIDA.....	921
3. PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN	921
4. CÁLCULO DE MULTICABLES	922
CÁLCULO LONGITUDES DE CABLES	922
5. Instrucciones programa de CÁLCULO DE TERMOPOZOS. <i>Cesáreo Martín Sanz</i>.....	923
1. GENERAL	925
2. INTRODUCCIÓN DE DATOS	925
3. RESULTADOS	928
CÁLCULO DE TERMOPOZOS.....	929
6. Cálculo de rangos de calibración.....	931
CÁLCULO DE RANGOS DE CALIBRACIÓN.....	933
GLOSARIO DE EQUIVALENCIAS DE TÉRMINOS HISPANOAMERICANOS.....	935



1

Proyectos de Instrumentación
AUTOR: Manuel Bollaín

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN AL VOLUMEN 3
2. DOCUMENTACIÓN A ELABORAR EN LOS PROYECTOS DE INSTRUMENTACIÓN
3. OBJETO DEL PROYECTO
4. CONTENIDO DEL PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL
5. INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO
6. LISTA DE DOCUMENTOS Y ACTIVIDADES DE LA PRIMERA FASE

I. INTRODUCCIÓN AL VOLUMEN 3

A partir de la base de conocimientos cubiertos por los Volúmenes 1 y 2, estamos en condiciones de ocuparnos de las actividades concretas de la ingeniería de los proyectos de instrumentación dentro de la ingeniería general de los proyectos de plantas de proceso.

Como se ha indicado, el proyecto de instrumentación se puede considerar dividido en dos fases. En la primera se trata de definir y adquirir todos los instrumentos y sistemas de instrumentación y control. Este Volumen 3 cubre tales actividades.

Dada la variedad y extensión de estas actividades se ha considerado conveniente el dividir el contenido en diversos capítulos que tratan los distintos conceptos dentro de este bloque de actividades.

A continuación se enumeran los capítulos que forman parte del volumen.

- Proyectos de instrumentación.
- Revisión de diagramas P&ID y datos de proceso.
- Especificaciones de instrumentación.
- Base de datos y lista de instrumentos
- Documentación de apoyo.
- Cálculos.
- Hojas de Datos.
- Requisiciones (RFQ) y Peticiones de Oferta.
- Tipos de contratos de compra.
- Análisis de ofertas, requisición compra y seguimiento.
- Sistemas de gestión documental
- Intercambio de información.
- Definición de los sistemas de control.
- Listas de señales.
- Esquemas de control (lazos).
- Diagramas lógicos.
- Estudios de niveles.
- Alimentaciones eléctricas de instrumentos.
- Alimentaciones de aire de instrumentos.
- Estimaciones de consumos.
- Especificaciones de Sistemas de Control (SCD)
- Especificaciones de los PLC.
- Requisiciones de Sistemas de Control (SCD)
- Proyecto de un SCD.
- Requisiciones de Sistemas de los PLC.
- Sistemas de Seguridad (SIS).
- Diseño salas de control.
- Unidades paquete y paneles locales.
- Ingeniería de Sistemas de Análisis.
- Seguridad informática (ciberseguridad).
- Gestión de la producción, laboratorio, y mantenimiento.
- CCTV y sistemas visión artificial.
- F&G.
- UPS.

I. Proyectos de Instrumentación

Manuel Bollaín

Anexos Volumen 3

- Volumen 3. Anexo 1: Modelos de Especificaciones de Instrumentos.
- Volumen 3. Anexo 2: Ayudas elaboración Hojas de Datos.
- Volumen 3. Anexo 3: Formatos de Hojas de Datos de Instrumentos.
- Volumen 3. Anexo 4: Ejemplos de requisiciones.
- Volumen 3. Anexo 5: Ejemplo de Índice de Instrumentos.
- Volumen 3. Anexo 6: Típicos de lazos de control.
- Volumen 3. Anexo 7: Formato de listas de señales.

En el presente capítulo se describen las generalidades de las actividades de la primera fase de los proyectos.

2. DOCUMENTACIÓN A ELABORAR EN LOS PROYECTOS DE INSTRUMENTACIÓN

Antes de iniciar las actividades de los proyectos de instrumentación es recomendable la lectura del [Capítulo 1-1](#) sobre los conceptos generales de ingeniería de los proyectos de instrumentación.

Para analizar el contenido de la documentación a elaborar en los proyectos de instrumentación conviene insistir en el objetivo general de todo documento técnico. El autor del mismo debe tener presente cuál va a ser el uso de la información contenida en el documento. En muchos casos los receptores de tal información son múltiples y con distintas funciones cada uno de ellos, haciendo por tanto un uso específico de la información de acuerdo con las necesidades de su propio trabajo.

En general, la información de un documento se requiere para dos funciones o actividades básicas:

- Realizar otro documento técnico en el que se usa o se tiene en cuenta la información del primero. El resultado es otro documento con nueva información.
- Realizar un trabajo físico o tarea concretos (una instalación, la fabricación de un equipo, la programación de un sistema informático, etc.) para lo que se requiere la información contenida en el documento. El resultado es el trabajo concreto realizado.

En algunos casos el mismo documento se usa para las dos funciones o actividades descritas.

Estas reflexiones, que parecen obvias, deben tenerse presentes al realizar una documentación de ingeniería. Obsérvese que para cumplir esta regla el autor del documento debe conocer no solo la materia que está desarrollando sino que también debe conocer con suficiente detalle el trabajo que con esa información tienen que realizar los distintos receptores o usuarios de la misma.

Téngase en cuenta que cuando hablamos de documento, este puede ser en su forma física –papel– o en forma de fichero informático.

Para valorar en tiempo y esfuerzo la actividad requerida para realizar un proyecto de instrumentación es muy importante tener presente que no solo se emplea tiempo en elaborar los documentos. Existen otras actividades adicionales como son las de revisión de los documentos propios (muchas veces una y otra vez) por cambios en otros documentos que nos afectan y por revisión de multitud de documentación no elaborada por Instrumentación pero que es necesario comprobar, como es el caso de la documentación de los suministradores.

Las reuniones y actividades de gestión, control de horas, etc., son frecuentemente un buen sumidero de horas.

3. OBJETO DEL PROYECTO

Recordemos el objeto de un proyecto de instrumentación. Se trata de elaborar toda la información necesaria para:

- Definir con el suficiente detalle todos los instrumentos, equipos, sistemas y materiales que van a constituir el sistema de control de procesos, incluyendo además toda la instrumentación de campo, la auxiliar, los sistemas de seguridad, los sistemas complementarios, y los sistemas de comunicación asociados con el control de la planta.
- La información elaborada deberá ser la necesaria para adquirir los sistemas y equipos, realizar la instalación de los mismos, operar con ellos en la fase de producción y facilitar el mantenimiento de todos ellos.
- La información producida deberá a su vez satisfacer las necesidades de información de otras disciplinas del proyecto general que la requieren, tales como Electricidad, Obra Civil, Tuberías, Equipos Mecánicos, etc., así como la que requieren los proveedores de equipos y servicios, el cliente, y otros entes tales como organismos certificadores y las administraciones.

I. Proyectos de Instrumentación

Manuel Bollaín

4. CONTENIDO DEL PROYECTO DE INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Simplificando mucho para fijar los criterios, hay dos grandes grupos o fases de documentación –información– a elaborar. Inicialmente (**primera fase**) está el conjunto de información destinada a definir los instrumentos, equipos y sistemas. Al conjunto de actividades de esta primera fase se le suele denominar “**Analítica**”.

En este contexto entendemos por instrumentos a unidades simples, generalmente instaladas en campo (elementos de primógenos o sensores en general, transmisores, indicadores locales, contactos de campo, convertidores, válvulas de control, válvulas solenoide, etc.).

Entendemos por equipos a subsistemas de instrumentación más complejos, como pueden ser analizadores, sistemas de control de combustible, etc., generalmente montados localmente y en ocasiones junto a equipos de proceso a los que están ligados.

Finalmente, entendemos por sistemas al conjunto integral de equipos tales como el Sistema de Control Distribuido, Sistemas de PLC, de seguridad, Sistemas de gas y fuego (*Fire and Gas*), etc.

El otro gran grupo de información (**segunda fase**) lo constituye toda la documentación necesaria para la instalación, pruebas, operación y mantenimiento de todos los instrumentos, equipos y sistemas que hemos definido en la primera fase. Esta segunda fase se le suele denominar “**Producción**”.

Debe entenderse que, aunque lo hayamos calificado en fases (puesto que así lo son funcionalmente) no lo son necesariamente en el tiempo. Quiere ello decir que alguna actividad de las clasificadas como de la segunda fase puede ser necesario realizarla –o al menos iniciarla– antes de que se hayan realizado todas las actividades de la primera fase.

5. INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA PRIMERA FASE DEL PROYECTO

5.1. Introducción

Para realizar las actividades del proyecto se requiere información externa al Departamento de Instrumentación. A continuación se lista la información esencial de manera resumida para la **primera fase** de actividades según se definió anteriormente:

Aunque la lista aplica a una planta de proceso tipo petroquímico, es muy similar a otros ámbitos industriales (Química, Papel, Energía, Cemento, Alimentación, etc.) por lo que es perfectamente representativa. Lo importante es resaltar el tipo de información requerida y para qué sirve esta en el trabajo de instrumentación.

Debemos mencionar que existen en la “vida real” diversas circunstancias por las que con frecuencia no disponemos de forma completa de esta información ni de otra equivalente. Ante esta situación caben dos posturas extremas:

- Hacer el trabajo sin la información adecuada y por tanto de manera deficiente con el argumento “yo no puedo hacer nada por obtener la información completa, por lo que haré lo que pueda con la información disponible aunque el trabajo resultante pueda ser deficiente”.
- Negarse a hacer el trabajo sin la información requerida y completa argumentando que no se está dispuesto a hacer un trabajo deficiente. Esto es muy fácil de escribir y muy difícil de hacer, obviamente.

¿Cuál es la postura correcta y realista?

En primer lugar examinar la situación. Dependiendo del ámbito en que estemos trabajando es posible que el que deba suministrar la información no tenga una idea precisa de lo que se necesita. Es decir, la omisión de información es por desconocimiento de su necesidad, no porque no se disponga de ella. Es por tanto conveniente el aclarar para qué se necesita y las consecuencias de su omisión. Cuando se tienen las ideas claras y se transmiten adecuadamente muchas veces es suficiente para, al menos, paliar el problema. Normalmente en las grandes ingenierías y usuarios finales no se suelen dar estas circunstancias ya que todo el flujo de información está perfectamente establecido y sistematizado.

Otras veces la causa de omisión de información es porque quien la tiene que facilitar, carece de ella.

Esto puede ser porque no ha hecho su trabajo completo o porque a su vez no ha recibido la información de otro para hacer el suyo. Un proyecto es así. Un flujo de información que se va ampliando y complementando con los trabajos de las distintas especialidades. Cuando faltan eslabones, la cadena se debilita y se puede romper. Evitemos a toda costa que se rompa por un eslabón de nuestra responsabilidad. Volviendo a nuestro caso, la postura correcta es exigir la información pero no interrumpir nuestro trabajo. Debemos tomar una postura de firmeza pero flexible. Finalmente resultará un trabajo bien hecho y un reconocimiento a la profesionalidad de tal postura.

Un último consejo sobre este tema: cuando la información afecte directamente a la seguridad de la planta y de las personas, la postura deberá ser absolutamente firme. Y no olvidemos que en muchos casos la seguridad va a depender muy directamente de la instrumentación y los sistemas de control.

5.2. Lista de la Información requerida en la primera fase

- Especificaciones Generales del Proyecto y Bases de Diseño.
- Descripción del Proceso.
- Diagramas de Flujo.
- Diagramas de Tuberías e Instrumentos (P&ID).
- Especificaciones de Tuberías.
- Especificaciones de Equipos de Proceso.
- Descripción de enclavamientos y seguridades.
- Datos de Proceso Instrumentos y Válvulas de Control.
- Hojas de Datos de Recipientes.
- Hoja de Datos de Equipos Mecánicos.
- Unidades Paquete.
- Plano de Implantación general.
- Planos de implantación por Áreas.
- Planos de Clasificación de Áreas Peligrosas.
- Diagrama unifilar general.

No toda la información de la lista precedente es requerida en el momento de arranque del proyecto de Instrumentación pero sí se necesita según va progresando la primera fase. También hay que tener en cuenta que se suele ir recibiendo la información en ediciones sucesivas en las que los responsables respectivos van incorporando progresivamente información más completa según va progresando el proyecto.

En el [Capítulo 3-6](#) se profundiza en esta documentación y se detalla su uso en la primera fase del proyecto.

En una gran Ingeniería está organizado el flujo de información entre las diferentes disciplinas. En el [Capítulo 3-14](#) se muestra el intercambio típico de documentación entre Instrumentación y cada uno de los departamentos técnicos.

6. LISTA DE DOCUMENTOS Y ACTIVIDADES DE LA PRIMERA FASE

En la lista siguiente se indica la documentación típica de la primera fase de un proyecto de instrumentación. Hay que tener en cuenta que la lista está simplificada y que cada uno de los conceptos en realidad corresponde a documentos de muchas páginas, dependiendo por supuesto, de la envergadura del proyecto. Tampoco se han indicado en esta lista diversas actividades ligadas con algunos documentos tales como Comprobación de Documentación de Vendedor, Análisis de Ofertas, información a otras disciplinas, etc.

Resumen de actividades y documentos:

- Especificaciones de Instrumentación ([Véase Capítulo 3-3](#)).
- Comprobación de P&ID ([Véase Capítulo 3-2](#)).
- Lista de instrumentos y base de datos (1^a Fase) ([Véase Capítulo 3-5](#)).
- Estimación de consumos ([Véase Capítulo 3-7](#)).
- Elaboración de Hojas de Datos ([Véase Capítulo 3-8](#)).
- Elaboración de requisiciones de instrumentos y sistemas ([Véase Capítulo 3-9](#)).
- Información para SCD y PLC ([Véase Capítulo 3-15](#)).
- Lazos de control ([Véase Capítulo 3-17](#)).
- Listas de señales ([Véase Capítulo 3-16](#)).
- Esquemas lógicos de enclavamientos ([Véase Capítulo 3-18](#)).
- Ingeniería preliminar de Unidades Paquete ([Véase Capítulo 3-28](#)).

El orden de realización viene condicionado por una parte por la planificación general del proyecto y por otra por disponibilidad de la información necesaria, así como por los recursos disponibles.

A continuación se muestra el flujo normal de ejecución de la primera fase del proyecto.

I. Proyectos de Instrumentación

Manuel Bollaín

Debemos insistir en que estas actividades no se realizan de una sola vez. Normalmente hay una primera versión inicial que debe ser actualizada y complementada a lo largo de la ejecución del proyecto.

