

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA



**“AUTOMATIZACION, CONTROL Y OPTIMIZACION DE LOS PROCESOS
DE PRODUCCION DE UN COMPLEJO METALURGICO”**

ESTUDIO DE CASO

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN ADMINISTRACION

Presenta:

JORGE MORALES CASTELAN

DIRECTOR: Mtro. Jorge Smeke Zwaiman

LECTOR 1: Mtro. Roberto Alejandro Sánchez de la Vara

LECTOR 2: Mtro. Gil Armando Sánchez Soto

México, D.F.

2011

Índice.

1. Introducción	3
2. Descripción genérica de la empresa	5
3. Justificación	15
3.1 Análisis de hechos y definición del problema	16
3.2 Análisis FODA.....	19
4. Marco teórico	21
5. Planteamiento de soluciones plausibles	25
6. Fundamentación de la solución elegida	28
6.1 Alineación estratégica	28
7. Marco de aplicación	33
7.1 Metodología de desarrollo del proyecto	35
7.2 Creación del grupo de trabajo	36
7.3 Selección de infraestructura tecnológica.....	37
7.4 Resultados hasta la fecha	41
7.5 Cómo se está llevando el proyecto a la fecha.	47
8. Conclusiones	49
9. Recomendaciones	49
10. Glosario de términos	51
11. Bibliografía y Cibergrafía.....	54

1. Introducción.

El objetivo de este estudio de caso es el de compartir las experiencias y resultados en la concepción, desarrollo, implantación y mantenimiento del **Proyecto Estratégico de Automatización, Control y Optimización** de las áreas de producción de cinco empresas del Negocio Metales del Grupo Peñoles.

En el año 2005 se nos asignó la responsabilidad de la automatización de los procesos de producción de las plantas de la División Metales del Grupo Peñoles.

La primera tarea que realizamos en colaboración con un grupo de expertos en la automatización de procesos industriales fue la de evaluar en forma general los aspectos más importantes en automatización, entre las que se encuentran:

1. Eficiencia de los sistemas instalados.
2. Capacidad de los sistemas instalados.
3. Nivel de automatización
4. Complejidad de los procesos susceptibles de ser automatizados.
5. Nivel de satisfacción de las áreas operativas del funcionamiento de los procesos automatizados.
6. Nivel de estandarización de la tecnología.
7. Capacidades de los proveedores de tecnología.
8. Nivel de eficiencia en la gestión de desarrollo y mantenimiento de los sistemas de control.

El resultado de este primer estudio resaltó dos aspectos importantes:

1. Que teníamos grandes áreas de oportunidad de mejora en todos los aspectos de automatización, desde la forma en que se seleccionan los procesos a ser automatizados, la forma en que se gestionan estos proyectos, la selección de tecnología a ser implantada, la selección de proveedores, el buen uso y el mantenimiento de los sistemas instalados, entre otros.

2. El tamaño de las plantas y la complejidad de los procesos operativos nos indicó que la automatización de los mismos debería ser tratada como un proyecto de alto nivel de complejidad y que los niveles de inversiones seguramente serían elevados.

Por tal motivo, con el objetivo final de mejorar la eficiencia de los procesos de producción, propusimos y fue aceptada la elaboración de un proyecto estratégico de automatización, control y optimización que identificara los procesos claves a ser automatizados, el nivel de inversiones requeridas y los tiempos de ejecución de los proyectos.

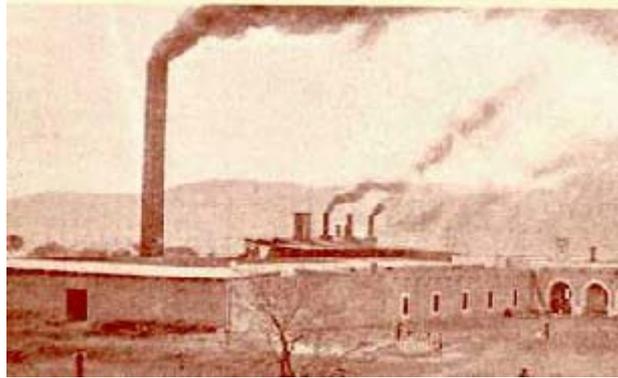
El concebir, vender la idea, planear, ejecutar y mantener un proyecto estratégico para la automatización, control y optimización de los procesos de producción de uno de los complejos metalúrgicos más grandes del mundo es un trabajo retador, complejo y altamente gratificante.

Para el desarrollo e implantación de este proyecto se requirió la participación de profesionistas de las siguientes especialidades: Ingenieros Químicos, Ingenieros en

Electrónica, Ingenieros Eléctricos, Ingenieros en Mecatrónica, Ingenieros o Licenciados en Informática, Maestros en Administración y Contadores, principalmente.

Estos especialistas aportaron sus conocimientos en disciplinas tales como: operación de los procesos de producción, automatización, control avanzado y optimización, planeación estratégica, administración de proyectos, instrumentación, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, evaluación de proyectos, seguridad, ecología, ingeniería de procesos y de detalle, evaluación de tecnologías de medición y control, relaciones interpersonales, administración del cambio, administración del conocimiento, administración de la calidad, control presupuestal, planes de contingencia, redes de control, administración del ciclo de vida de las inversiones tecnológicas, entre otros.

2. Descripción Genérica de la Empresa



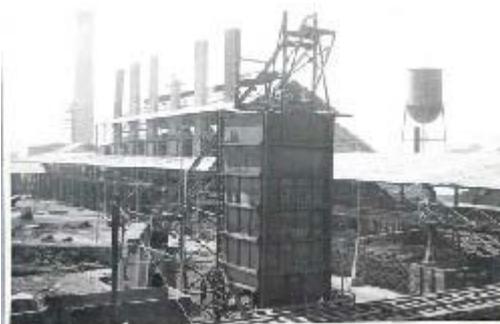
BREVE HISTORIA

En el mes de marzo del año de 1887, un grupo de empresarios mexicanos emprendedores fundó la Compañía Minera de Peñoles, con el propósito de explotar tres minas que se encontraban en la Sierra de Peñoles, municipio de San Pedro del Gallo, en el estado de Durango, lugar de donde toma su nombre: Peñoles, que significa "grandes peñas".

La Compañía estableció su planta metalúrgica y empezó a crecer de manera acelerada, por lo que fue necesario un ferrocarril de vía angosta, que uniera a Mapimí con Bermejillo, alumbrado eléctrico, red telefónica, comunicaciones subterráneas entre las minas y el famoso Puente Colgante de Ojuela.



En 1900, en la todavía Villa de Torreón, un grupo de mexicanos fundó la Compañía Metalúrgica de Torreón, S.A. para establecer una fundición de plomo. El primero de junio de 1901, inicia sus operaciones la Planta y en un período muy corto duplicó su capacidad original.



En 1917 la Compañía de Minerales y Metales adquirió el 80% de la Compañía Metalúrgica de Torreón, y en 1920, la Planta pasó a la Compañía Minera de Peñoles.

Al declinar los años veinte el mundo sufrió una profunda crisis económica y cayeron los precios de los metales.



Al estallar la Segunda Guerra Mundial, nuestro país se convirtió en un proveedor importante de metales y otras materias que requería la



industria bélica. Esta época fue decisiva para el crecimiento de la industria mexicana y para Peñoles.



El Sr. Bernhard Rohe, quien estaba al frente de Peñoles, convenció a los señores José A. García y Sr. Raúl Baillères para iniciar las negociaciones de mexicanización de 1957, culminando en 1961 con la creación de Metalúrgica Mexicana Peñoles, S.A., primera empresa minera que se mexicanizó.

En 1961, Peñoles adquirió la mayoría de las acciones de la Compañía Minera Fresnillo, S.A. e inició la construcción de las instalaciones de la nueva empresa Química del Rey, S.A.



El 1° de Septiembre de 1968 se creó una nueva empresa, Industrias Peñoles, S.A. de C.V. Desaparece Metalúrgica Mexicana Peñoles, S.A. y se transfieren sus operaciones y plantas metalúrgicas de fundición y afinación de metales a una planta filial, MET-MEX PEÑOLES, S.A. DE C.V.

Hoy por hoy, MET-MEX PEÑOLES, S.A. DE C.V., es una empresa subsidiaria de Industrias Peñoles que genera 2,276 empleos directos en Torreón Coahuila. Cuenta con una Fundición de Plomo, planta Electrolítica de Zinc, Refinería; plantas de Oleum,

Sulfato de Amonio, Bióxido de Azufre Líquido, Polvo de Zinc, dos plantas de Tratamiento de Aguas y dos de Ácido Sulfúrico, además instalaciones en Bermejillo, Dgo. y Ramos Arizpe, Coah.

MET-MEX PEÑOLES, S.A DE C.V. se distingue por ser una empresa que contribuye al desarrollo de la región y cumple sus compromisos con la comunidad de la cual forma parte.



GRUPO PEÑOLES HOY





- ▶ Inició operaciones en 1887 como empresa minera.
- ▶ Cuenta con operaciones integradas en exploración, minería, metalurgia y químicos.
- ▶ Cotiza en la Bolsa Mexicana de Valores desde 1968; su acción forma parte del IPyC.
- ▶ Uno de los mayores exportadores netos del sector privado mexicano.

Estructura Organizacional
Negocios Principales
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Exploración ▶ Minas ▶ Metales - Químicos
Otros Negocios
<ul style="list-style-type: none"> ▶ Infraestructura

Principales Minas

- ▶ **Fresnillo:** mina de plata más rica del mundo.
- ▶ **La Ciénega:** mina de oro más rica de México.
- ▶ **La Herradura:** mina de oro más grande de México.
- ▶ **Naica:** mina productora de plomo más grande de México.
- ▶ **Francisco I. Madero:** mina productora de zinc más grande de México.

Principal Operación Metalúrgica

- ▶ **Met-Mex:** cuarto complejo metalúrgico y mayor productor de plata afinada y bismuto metálico del mundo.

Principal Operación Química

- ▶ **Química del Rey:** planta productora de sulfato de sodio más grande del mundo.

Misión: Agregar valor a los recursos naturales no renovables en forma sustentable.

Visión: Ser la empresa mexicana más reconocida a nivel mundial de su sector por su enfoque global, la calidad de sus procesos y la excelencia de su gente.



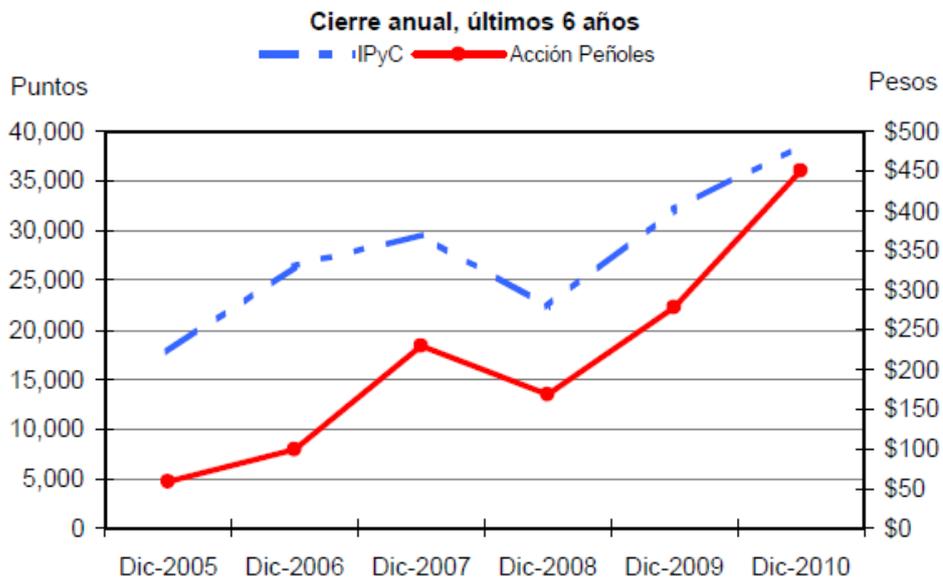
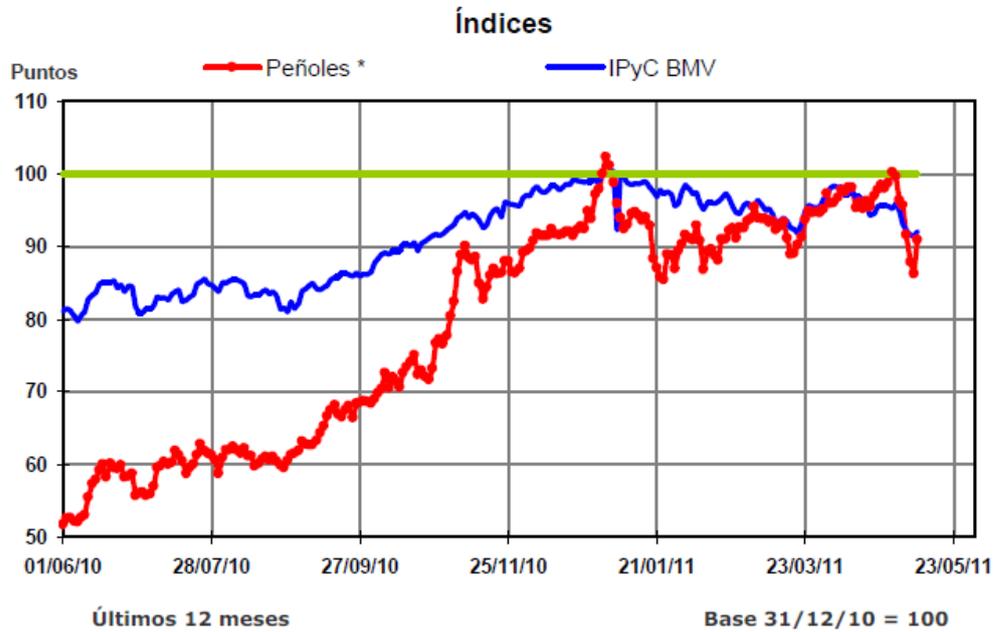
Peñoles, comprometido con el cuidado de la naturaleza

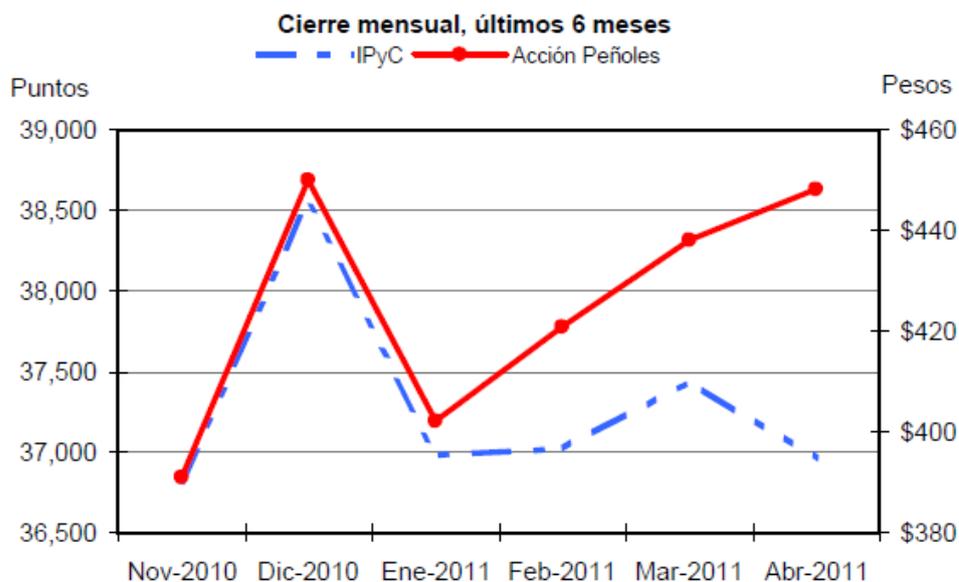
Peñoles, comprometido con el cuidado de la naturaleza



Cifras de la Bolsa Mexicana de valores con relación a Peñoles.

Cierre de la acción Peñoles * e IPyC de la BMV al 9 de mayo de 2011.





Participación accionaria de las empresas que forman el Grupo peñoles.

Subsidiaria	Pais	% Participación
Minas Peñoles, S.A. de C.V.	México	100
Química Magna, S.A. de C.V.	México	100
Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V.	México	100
Magnelec, S.A. de C.V.	México	100
Minera Bismark, S.A. de C.V.	México	100
Compañía Minera Sabinas, S.A.	México	100
Compañía Minera La Parreña, S.A.	México	100
Fertirey, S.A. de C.V.	México	100
Servicios Administrativos Peñoles, S.A. de C.V.	México	100
Bal Holdings, Inc.	EUA	100
Fuerza Eólica, S.A. de C.V.	México	100
Fuerza Eólica del Istmo, S.A. de C.V.	México	100
Fresnillo plc 77	Inglaterra	77
Minera Fresnillo, S.A. de C.V.	México	77
Minera Mexicana La Ciénega, S.A. de C.V. 77	México	77
Minera Tizapa, S.A. de C.V.	México	51
Bal-Ondeo, S. de R.L. de C.V. y subsidiarias.	México	50
Línea Coahuila-Durango, S.A. de C.V.	México	50
Minera Penmont, S. de R.L. de C.V. 44 44	México	44

En color azul están 2 de las empresas que forman parte de este estudio de caso.

CIFRAS FINANCIERAS SOBRESALIENTES

	2010	2009	% Var.
Ventas netas	64,251,293	44,812,965	43.4
Utilidad bruta	21,083,395	13,857,623	52.1
Gastos de exploración	1,546,706	910,186	69.9
UAFIDA ⁽¹⁾⁽²⁾	16,562,465	10,437,837	58.7
Utilidad de operación ⁽²⁾	13,809,963	8,090,181	70.7
Utilidad neta	6,484,263	5,198,273	24.7
Inversión en activos fijos	6,561,750	4,956,117	32.4
Efectivo e inversiones ⁽³⁾	12,577,226	12,020,538	4.6
Propiedades, planta y equipo, neto	27,981,541	25,796,854	8.5
Activos totales	55,527,545	52,416,087	5.9
Total deuda a largo plazo	7,303,929	5,913,056	23.5
Pasivos totales	22,731,329	18,846,607	20.6
Capital contable total	32,796,216	33,569,480	-2.3
Acciones en circulación al cierre del año	397,475,747	397,475,747	-
Utilidad por acción	16.31	13.08	24.7
Dividendos por acción ⁽⁴⁾	21.46	8.67	147.5
Precio de la acción al cierre del año	450.14	278.84	61.4

Nota: Cifras al 31 de diciembre de 2010 y 2009 en miles de pesos, excepto datos por acción que están expresados en pesos.

INDUSTRIAS PEÑÓLES, S.A.B. DE C.V. Y SUBSIDIARIAS BALANCE GENERAL AL 31 DE DICIEMBRE 2010

Cifras en miles de pesos	2010 4T
Activo Circulante:	
Efectivo e Inversiones Temporales	12,577,226
Cuentas por Cobrar	3,914,662
Inventarios, netos	6,500,114
Pagos Anticipados	124,169
Instrumentos Financieros	644,069
Total Activo Circulante	23,760,240
Inversiones en Compañías Asociadas y Otras	
Inversiones Permanentes	1,141,376
Propiedades, Plantas y Equipos, netos	56,851,268
Depreciación acumulada	(28,464,663)
Otros Activos	2,239,325
Total Activo	55,527,546

Pasivo a Corto Plazo:

Vencimiento a un año del pasivo a largo plazo y préstamos bancarios	251,555
Documentos, Cuentas y Gtos, Acumulados	2,820,895
Remitentes de Mineral	2,169,890
Participación de Utilidades al Personal	796,094
Impuesto sobre la Renta	779,486
Instrumentos Financieros Derivados	1,712,703
Total Pasivo a Corto Plazo	8,530,623

Pasivo a Largo Plazo:

Deuda a Largo Plazo	7,303,929
Otros Pasivos	487,463
Reserva para Beneficios al Personal	564,966
Total Pasivo a Largo Plazo	8,356,359
Impuestos Diferidos y Otros	5,844,349
Total Pasivo	22,731,330

Capital Contable:

Capital Social	3,560,205
Reserva para Recompra de Acciones	205,852
Utilidades Acumuladas	11,167,501
Efecto Acumulado Impuestos Diferidos	3,155,768
Exceso (Insuf.) en Actzon. del Capital	145,795
Resultado por Valuación de Coberturas	(68,187)
Resultado del Ejercicio	6,484,263
Reserva Legal	683,026
Total Capital Contable de la participación controladora	25,334,223
Total Capital Contable de la participación no controladora	7,461,993
Total Capital Contable	32,796,216
Total Pasivo y Capital Contable	55,527,546

Nota: cifras no auditadas.



Negocio Metales

Como lo mencioné antes, La empresa más importante objeto de este estudio de caso es Met-Mex Peñoles, S.A. de C.V., del Negocio Metales, considerado uno de los complejos metalúrgicos más grandes del mundo.

El negocio de Metales opera el complejo metalúrgico no ferroso (Met-Mex Peñoles) más importante de América Latina y cuarto a nivel mundial, en términos del valor de la producción, cuyas instalaciones cuentan con una fundición de plomo, una refinería de plomo-plata y una refinería electrolítica de zinc; adicionalmente opera plantas de ácido sulfúrico, cadmio, bismuto, sulfato de amonio y bióxido de azufre líquido.

Met-Mex Peñoles inició operaciones en 1901 en la Ciudad de Torreón, Coah.

Otras empresas del Negocio Metales objeto de este estudio son: Bermejillo, Fertirey y Aleazín.

		Producción Metales				
		2006	2007	2008	2009	2010
PRODUCCIÓN (000)						
Producto	Unidad					
Metales:						
Oro	Oz.	1,566.9	1,742.3	1,808.8	832.0	1,093.6
Plata	Oz.	99,313.7	110,088.0	118,265.7	76,019.4	103,060.6
Plomo	Ton.	139.6	140.5	141.4	113.8	142.2
Zinc	Ton.	239.4	229.1	225.2	236.7	232.7
Cobre	Ton.	9.2	7.4	7.3	5.9	7.8
Cadmio	Ton.	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
Bismuto	Ton.	1.2	1.2	1.1	0.9	1.0
Bullion de Plomo	Ton.	154.0	153.3	156.9	139.0	153.2

[Descargar histórico producción metales](#)

Principales Productos:



ORO / Au



PLATA / Ag



ZINC / Zn



PLOMO / Pb



CADMIO / Cd



BISMUTO / Bi



Ácido Sulfúrico grado agrícola H_2SO_4



Sulfato de Amonio $(NH_4) SO_4$

Agroindustriales

SulpH-Acid Grado Agrícola	Sulfato de Amonio	Acuamonia
Sulmag	Nima	Nutrifed-Mag
Supermag	Calcimag	Nutricob
Nutrizinc	Dolomag	Cebú

3. Justificación

La competitividad global obliga a las empresas a ser más eficientes, eficaces e innovadoras, a fin de sobrevivir, de ganar ventaja competitiva y tomar liderazgo en el sector industrial en donde participan.

Para tal efecto, las empresas de transformación se ven en la permanente necesidad de incrementar sus niveles de producción, la calidad de sus productos y su continuidad operativa, además de reducir sus costos de operación, costos de mantenimiento, los niveles de riesgo de su personal, el consumo de energéticos, el daño al medio ambiente, reprocesos y desperdicios, entre otros.

Una de las opciones más utilizadas por las empresas que compiten a nivel internacional para lograr los objetivos antes mencionados es la automatización de sus procesos de producción.

Como no existe una definición única de automatización, para efectos de este estudio tomaremos la que se propone en Reference for Business, Encyclopedia of Business, 2nd ed., <http://www.referenceforbusiness.com/small/A-Bo/Automation.html>.

“La automatización se refiere al uso de computadoras y maquinaria o equipo automatizado para la ejecución de tareas relacionadas con el negocio. Equipo automatizado puede extenderse desde un simple instrumento sensor (cualquier dispositivo que recibe una señal o estímulo tal como presión, calor, movimiento, y responde a éste de alguna forma), hasta un robot u otros sofisticados equipos y sistemas para controlar procesos industriales. La automatización de los procesos de producción puede abarcar desde el control de una simple tarea hasta la automatización de toda una planta”

En la industria podemos decir que la ejecución y el control de los procesos se pueden realizar en forma manual, automática, o en alguna combinación de éstas.

En los procesos no automatizados, el operador en base a su conocimiento, destreza y experiencia manipula los dispositivos en forma manual para ejecutar la tarea tratando de hacerlo de la mejor forma posible. En estos casos la persona o personas que están ejecutando el proceso lo realizan utilizando principalmente sus sentidos como la vista, el tacto, el olfato, el oído y el gusto, además de sus capacidades físicas como fuerza, altura, flexibilidad y rapidez entre otros para ejecutar y controlar el proceso y el resultado final. La parte anímica del operador también juega un rol importante al momento de realizar el proceso.

En los procesos industriales complejos, por más buena disposición que un operador tenga para realizar una tarea en forma manual, sus condiciones físicas y anímicas en muchos casos limitan o impiden que su trabajo sea realizado consistentemente en forma eficiente, económica y segura.

Otra limitante de los procesos industriales ejecutados en forma manual, es que generalmente se requieren de más de una persona para realizar la misma tarea durante las 24 horas del día, en estos casos, no todos los operadores tienen la misma habilidad y destreza para realizar la misma tarea. Es común que entre ellos puedan tener diferencias en la percepción de colores, sonido, sabores, sensaciones y olores, que influirá en el

desarrollo de su trabajo. Unos son más fuertes y hábiles que otros. Unos tienen más capacidad de aprendizaje que otros. Unos tienen mejor disposición al trabajo que otros. Algunos pueden estar pasando por problemas de salud o situaciones personales o familiares que en ese momento influyen en su desempeño.

Por otro lado, los autómatas o equipo de control automático tienen en general la capacidad de realizar las tareas repetitivas más precisas, más rápidas, más seguras y con menos desperdicios comparadas con lo que puede hacer un ser humano.

También es importante mencionar que no obstante los grandes progresos que se han hecho en la ciencia de la automatización, no todos los procesos pueden o deben ser automatizados.

Si consideramos tareas o actividades en el ámbito de algunas ciencias o artes tales como la pintura, la música, la literatura, por decir algunas, en mi opinión un autómata o robot aún no llega y probablemente nunca llegue a igualar o superar al ser humano.

Otra razón importante para la automatización tiene que ver con la parte ética o moral dentro en los negocios. La empresa moderna tiene entre otras responsabilidades cuidar la seguridad física y emocional de sus trabajadores. Las tareas realizadas en condiciones de extremo peligro, repetitivas, inseguras o insalubres, bien puede analizarse la posibilidad de que sean realizadas por un autómata, permitiendo al ser humano realizar labores más intelectuales, más seguras y de mayor valor agregado.

Por las razones antes expuestas, uno de los parámetros que en definitiva determinan el nivel competitivo de una empresa es su grado de automatización.

3.1 Análisis de los hechos y definición del problema

Para el año 2005, las condiciones de la infraestructura de automatización de las empresas del negocio Metales eran las siguientes:

1. Algunas áreas de planta tenían sistemas de control que en su momento fueron de vanguardia pero que ya habían llegado a su etapa de obsolescencia. Intermitentemente se provocaban paros de planta por problemas en los sistemas de control.
2. La mayor parte de los procesos se controlaban en forma manual soportados por instrumentación tradicional y sistemas de control muy limitados.
3. Las redes industriales para los sistemas de control eran obsoletas, poco confiables e inestables, además de que no cumplían estándares industriales. Intermitentemente se provocaban paros de planta por problemas en las redes de datos.
4. La mayor parte de los sistemas de control no guardaban un registro histórico de eventos, lo que no permitía el análisis estadístico de los del proceso, ni análisis de causa raíz en caso de paros de planta o problemas operativos.
5. Los sistemas de energía eléctrica y sistemas de tierras presentaban problemas que provocaban paros de planta.

6. En general no se tenía la disciplina de dar un mantenimiento adecuado a la infraestructura de automatización: instrumentos, válvulas, sistemas de control y redes industriales.

7. La mayor parte de los procesos no estaban documentados, ni como proceso operativo ni como proceso automatizado.

8. La mayoría de los cuartos de control no eran funcionales y estaban sucios y descuidados.

9. Se tenía una dependencia excesiva de empresas externas con costos de desarrollo y mantenimiento extremadamente altos.

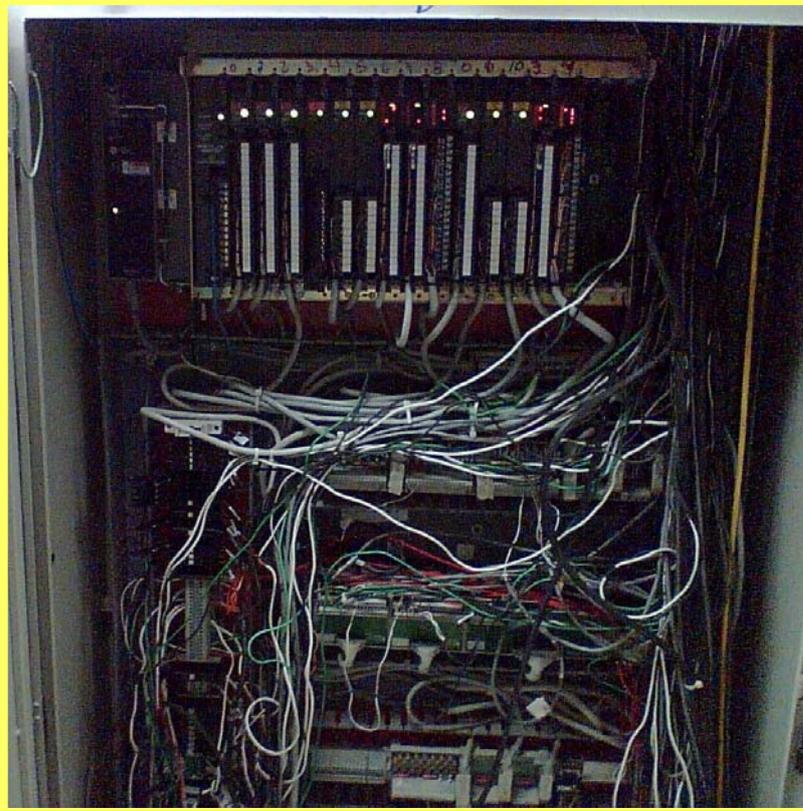
10. La capacitación, adiestramiento y certificación a personal de operación para el uso de los sistemas de control instalados o no se daba o era muy deficiente. Esto traía como consecuencia que los sistemas automatizados no eran utilizados eficientemente.

En seguida, se mostrarán algunas fotografías que muestran la infraestructura de automatización con la que se contaba.

La siguiente fotografía muestra uno de los tableros de control que ya habían llegado a su nivel de obsolescencia:



La siguiente fotografía muestra el cableado de los sistemas de control en total descuido, desordenados y sin identificación. Muchos de los cables ya no estaban en uso y era extremadamente difícil identificarlos para eliminarlos y dar mantenimiento a los que sí estaban en uso.



El cableado de señales estaba en pésimo estado, era muy difícil identificarlo ya que estaba revuelto con cables utilizados para otros fines.



Cuartos de control en muy mal estado con mínimas condiciones de limpieza y comodidad para los operadores.



Aunque no se medían en forma exacta las pérdidas económicas como resultado de la deficiente infraestructura de automatización y control que se tenía, era evidente que éstas eran significativas, ya que una infraestructura deficiente afecta en forma negativa la productividad, la calidad de los productos, la continuidad operativa, los costos de operación, los costos de mantenimiento, el consumo de energéticos, las contingencias ambientales y los accidentes.

ANÁLISIS FODA:

En seguida presento el análisis de Fuerzas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que fueron identificadas, así como las acciones acordadas para aprovechar las fuerzas y las oportunidades, además de las acciones para convertir las debilidades en fuerzas y las amenazas en oportunidades o disminuir su impacto.

FUERZAS.:

Descripción:	Acciones:
Apoyo Directivo	Demostrar los altos índices de retorno de inversión en la automatización de los procesos de producción para generar confianza y mantener adecuados niveles de inversión en automatización en forma permanente a través de los años.
Disponibilidad de recursos financieros para inversión.	Aprovechar el momento de altos valores de los metales para crear una infraestructura para la automatización, control y optimización de los procesos de producción que apoye en una forma importante el aumento de productividad,

	la disminución de costos, la disminución de usos de energéticos, la seguridad de personal y equipo y el cuidado al medio ambiente.
Personal de la especialidad de instrumentación, automatización, control y optimización altamente capacitados y con experiencia en el desarrollo e implantación de problemas complejos.	Aprovechar el conocimiento y experiencia del personal del departamento de Control de Procesos e Instrumentación.
Personal con verdadero interés y motivación en la modernización de los procesos de producción.	Aprovechar a estas personas como punta de lanza en la evolución tecnológica.
Algunas áreas importantes con niveles adecuados de automatización.	Mantener esta infraestructura y aprovecharla para optimización.

OPORTUNIDADES:

Descripción:	Acciones:
Avance tecnológico. Múltiples proveedores de tecnología de automatización de clase mundial.	Aprovechar las innovaciones en automatización.

DEBILIDADES:

Descripción:	Acciones:
Deficiente documentación de procesos: diagrama de flujo de procesos, diagramas de tubería e instrumentos, balances de materia y energía, índices de desempeño operativo.	Actualización de la documentación de los procesos en forma permanente, no solo para propósitos de la automatización, sino también para la operación de los mismos procesos.
Resistencia al cambio en algunas áreas.	Convencerlos con resultados comprobables de los beneficios de la automatización tanto para la organización como para su desarrollo profesional.
Infraestructura de control no estandarizada: Instrumentación de campo, válvulas de control, controladores, redes industriales.	Estandarización tecnológica.
Falta de una estrategia de automatización a largo plazo.	Elaborar un Plan Maestro de Automatización de todas las plantas con un horizonte de 5 años.
Procesos de alto impacto para el negocio con infraestructura de automatización mínima o nula.	Asignar prioridades a los proyectos de automatización y control.
Equipos de instrumentación y control obsoleto.	Administración del ciclo de vida de la tecnología
Desconocimiento por parte de algunas personas claves del las áreas operativas, de mantenimiento e instrumentación de los avances tecnológicos en cuanto a instrumentación y técnicas de control de los procesos.	Difundir los conocimientos de control de procesos entre los diferentes niveles de la organización.

AMENAZAS:

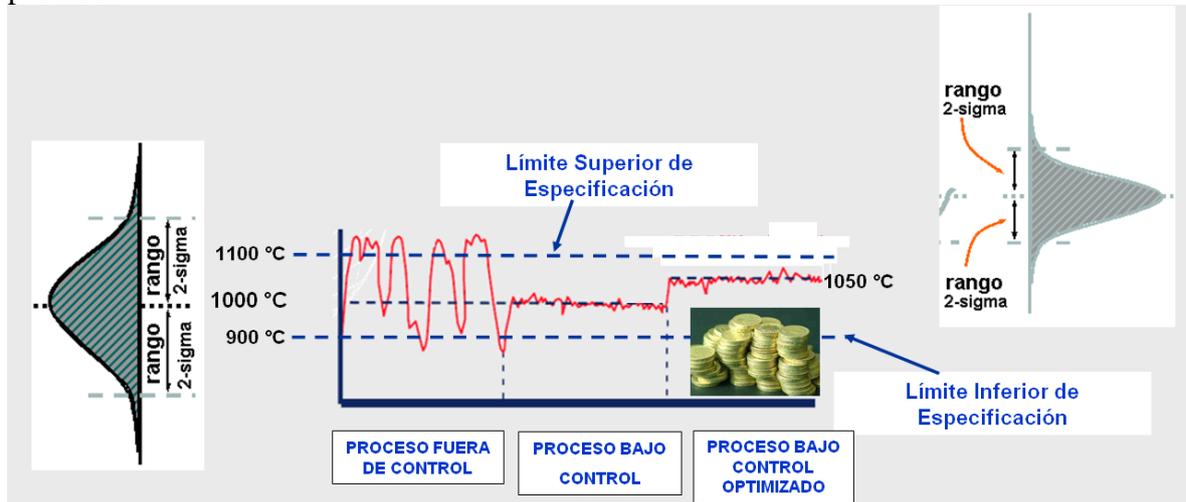
Descripción:	Acciones:
Cambios en el entorno de la organización (Crisis económica, baja en los precios de los metales, huelgas, etc.)	Automatizar los procesos como una estrategia de estar lo mejor preparados para épocas de bajos niveles de ingresos, de poca capacidad de inversiones y situaciones de contingencia.
Presiones sociales por emisiones de bióxido de azufre, partículas de plomo y amoniaco.	Automatizar para eliminar emisiones o disminuirlas lo máximo posible para ser considerados por la comunidad como un buen vecino.
Falta de proveedores locales confiables.	Desarrollar proveedores locales.

4. Marco teórico.

En esta sección, definiremos los principios que gobiernan la medición, el control y la optimización de los procesos industriales.

Principios de Control.

En la siguiente lámina se muestran los diferentes estados que se pueden presentar en un proceso:



Supongamos que nuestro objetivo es controlar un horno a una temperatura ideal de 1,000° C. y con un límite máximo de 1,100°C y un límite mínimo de 900°C.

1. En la primera etapa (PROCESO FUERA DE CONTROL) notamos que la temperatura está oscilando fuera de los límites de especificación, lo que seguramente tendrá como consecuencia algunos de los siguientes problemas: producto fuera de especificaciones; consumo elevado de energéticos (gas, combustóleo, energía eléctrica, coque, etc.); producto que se tendrá que desechar, reciclar o vender a un menor precio; desgaste innecesario y menor vida útil de equipos de proceso y equipos auxiliares; mayores riesgos a personas y equipos; contaminación ambiental y otros. En resumen, esto impacta en forma negativa en los resultados operativos y financieros del negocio.

2. En la segunda etapa (PROCESO BAJO CONTROL) la variable de temperatura está consistentemente muy cerca de la temperatura ideal, lo que seguramente trae como resultado algunos de los siguientes beneficios: producto dentro de especificaciones, consumo del energético óptimo, mayor vida útil de los equipos de proceso y equipos auxiliares, mayor seguridad de las personas y equipo, menores riesgos ambientales y otros. En resumen, esto impacta en forma positiva los resultados operativos y financieros del negocio.

3. Siempre y cuando tengamos un proceso bajo control, podemos llegar a la etapa de optimización, que por definición es la maximización o minimización de una función objetivo. En esta tercera etapa (PROCESO BAJO CONTROL OPTIMIZADO) es donde a través del estudio del proceso, su análisis, experimentación y simulación, entre otras técnicas, descubrimos un nuevo punto de control o set point (como es más conocido en el ambiente de la automatización) que nos permite tener un desempeño óptimo del

proceso, maximizando o minimizando una función objetivos, digamos que en este caso es el consumo de gas o la temperatura del horno. En resumen, si llegamos a este nivel, estamos maximizando los resultados operativos y financieros del negocio.

La optimización se logra con estudio de ingeniería de proceso a través de modelación y experimentación para determinar la forma más óptima de operar un proceso, en este caso hipotético, aunque ya tenemos bajo control el proceso en 1,000°C se descubre por decir, que bajo ciertas condiciones logramos una mayor producción, mejor calidad del producto y menor consumo de gas a una temperatura de 1,050°C, que se convierte en el nuevo punto de control, esta temperatura ideal puede estar variando en función a los insumos, condiciones de los equipos, estrategias del negocio u otros.

La optimización es sin duda uno de los factores que genera ventaja competitiva.

Es importante aclarar que el control y la optimización es posible, aunque más difícil, lograrlos aún sin automatización.

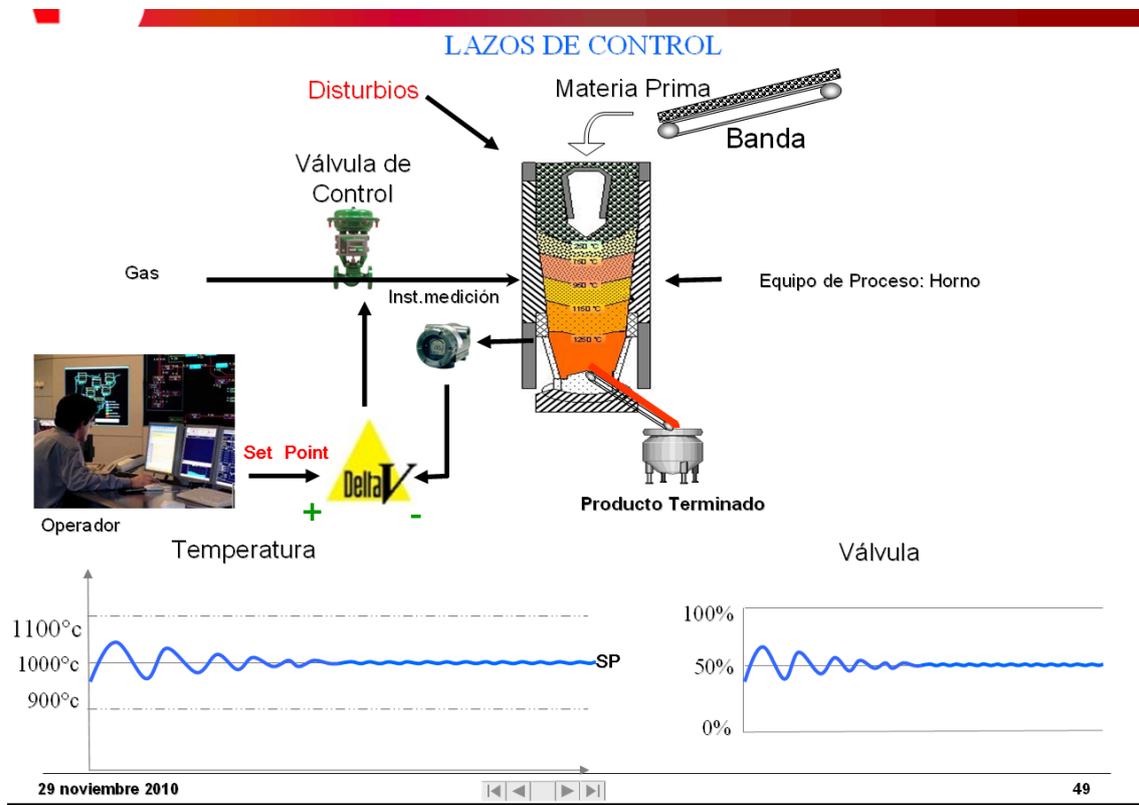
Principios de automatización

La siguiente lámina representa algunos objetivos que justifican el control y la optimización de procesos.



Fuente: Adaptación de lámina utilizada por la empresa Emerson Process Management.

La siguiente lámina representa en forma general los componentes mínimos que se requieren para controlar un proceso en forma automática o como se le llama en el ambiente de la automatización los componentes de un “lazo de control”.



En este ejemplo hipotético, digamos que deseamos controlar el horno a una temperatura ideal de 1000 °C.

El proceso es el siguiente:

1. El operador le da instrucciones al controlador que desea mantener la temperatura a 1000 °C.
2. El instrumento de medición mide la temperatura del horno y la envía al Controlador.
3. El controlador determina si hay diferencia entre la temperatura deseada y la registrada. En caso de ser así, calcula y envía la orden al Actuador o Válvula de Control indicándole en qué porcentaje debe abrir o cerrar para controlar el flujo de gas y durante cuánto tiempo para mantener la temperatura lo más cercano posible a 1000 °C.

Este proceso es iterativo, los pasos 1 al 3 se repiten en intervalos de tiempo muy cortos, digamos cada 5 segundos, por esto, podemos llegar a niveles de control extremadamente precisos.

Aclaro que éste es un ejemplo extremadamente simplificado, ya que en realidad, programar y mantener los lazos de control es mucho más complicado de lo que aquí se representa, pudiendo ser tema de otro estudio de caso.

Los factores que se tienen que considerar para programar uno o más procesos en forma automática son:

1. La naturaleza del mismo proceso a controlar.
2. Las variables que se van a controlar (temperaturas, flujos, niveles, PH's, etc.)
3. El nivel de exactitud y confiabilidad de los instrumentos de medición.
4. El nivel de exactitud y confiabilidad de las válvulas de control
5. Los disturbios en el proceso
6. La degradación normal de los equipos de proceso
7. Los algoritmos disponibles en los sistemas de control.
8. Otros.

INFRAESTRUCTURA PARA LA AUTOMATIZACIÓN.

La infraestructura básica requerida para la automatización es la siguiente:

1. Instrumentación de campo: Principalmente sensores y válvulas de control. En forma genérica la podemos dividir en Instrumentación convencional 4-20 mA e Instrumentación Inteligente.
2. Controladores o Sistemas de Control: Son las computadoras, procesadores y estaciones de operación en donde se programan los algoritmos de control, las interfaces de operación (gráficos dinámicos, alarmas, reportes, tendencias) y el registro histórico de eventos, entre otros. En forma genérica principalmente son los siguientes: SCD (Sistemas de Control Distribuido), PLC's (Controladores Lógicos Programables) y Robots, cada uno de ellos para un propósito específico.
3. Redes Industriales: Utilizados para intercomunicar entre sí sensores, válvulas, equipo de proceso, dispositivos eléctricos y sistemas de control.
3. AMS. Software para la administración de Activos por sus siglas en inglés, utilizado para el diagnóstico, calibración, configuración, estado de "salud" de instrumentos, maquinaria, equipo de proceso.
4. Dispositivos Inteligentes: Centro de Control de Motores, variadores de velocidad de motores, relevadores de sobrecarga, Controladores de sistema de pesaje y otros.
5. Software de Control Avanzado: MPC (Control Multivariable), Sistemas Expertos, Fuzzy (Lógica difusa), Redes neuronales.
6. Sistema de energía eléctrica: Centros de carga, fuentes de energía ininterrumpida y Sistemas de tierras.

Como las inversiones en estas tecnologías son muy altas, estos trabajos deberán ser realizados por expertos en cada una de esta disciplinas, de tal forma que se seleccionen las tecnologías que mejor se adapten al tipo de procesos que se requieren controlar, garantizando que las inversiones sean las más adecuadas para los tipos de procesos que se van a medir, controlar y optimizar, y además que tengan el mayor tiempo de vida útil posible.

5. Planteamiento de soluciones plausibles

Considerando la deficiente infraestructura en automatización con que contábamos en ese momento y la tecnología disponible para la automatización, teníamos que elegir entre las siguientes tres opciones:

1. Seguir como estábamos.
2. Invertir en “parchar” la infraestructura instalada.
3. Evolucionar a tecnologías de automatización de clase mundial.

Si decidíamos seguir como estábamos, los problemas de paros de planta, baja productividad, altos costos, altos niveles de desperdicio y problemas de calidad en el producto continuarían presentándose en el corto plazo y seguramente se agudizarían en el mediano y largo plazo.

Con la infraestructura que teníamos, estábamos seguros que si invirtiéramos dinero y tiempo en pequeñas mejoras o “parches”, aunque podríamos lograríamos mejoras en el corto plazo, de ninguna forma lograríamos mejoras significativas en los resultados operativos y tampoco podríamos lograr que esta infraestructura nos pudiera soportar un horizonte mínimo de 10 años.

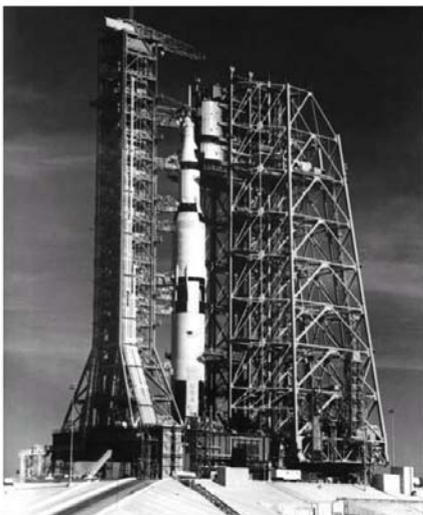
La tercera alternativa era evolucionar a tecnologías de control de clase mundial que nos permitieran ser más competitivos en el corto y largo plazo.

La siguiente lámina ilustra la evolución que pretendíamos lograr. En una forma simbólica, esto representaba la decisión de hacerle parches al Apolo, ó evolucionar trabajando en la creación del Discovery. Aunque obviamente ni teníamos un Apolo, ni íbamos a crear ningún Discovery, está imagen ayudó a posicionar una imagen que representaba retos y resultados importantes.



GRUPO METALES Gerencia de Control de Procesos

LA EVOLUCIÓN



APOLO I



DISCOVERY

CONTROL DE PROCESOS



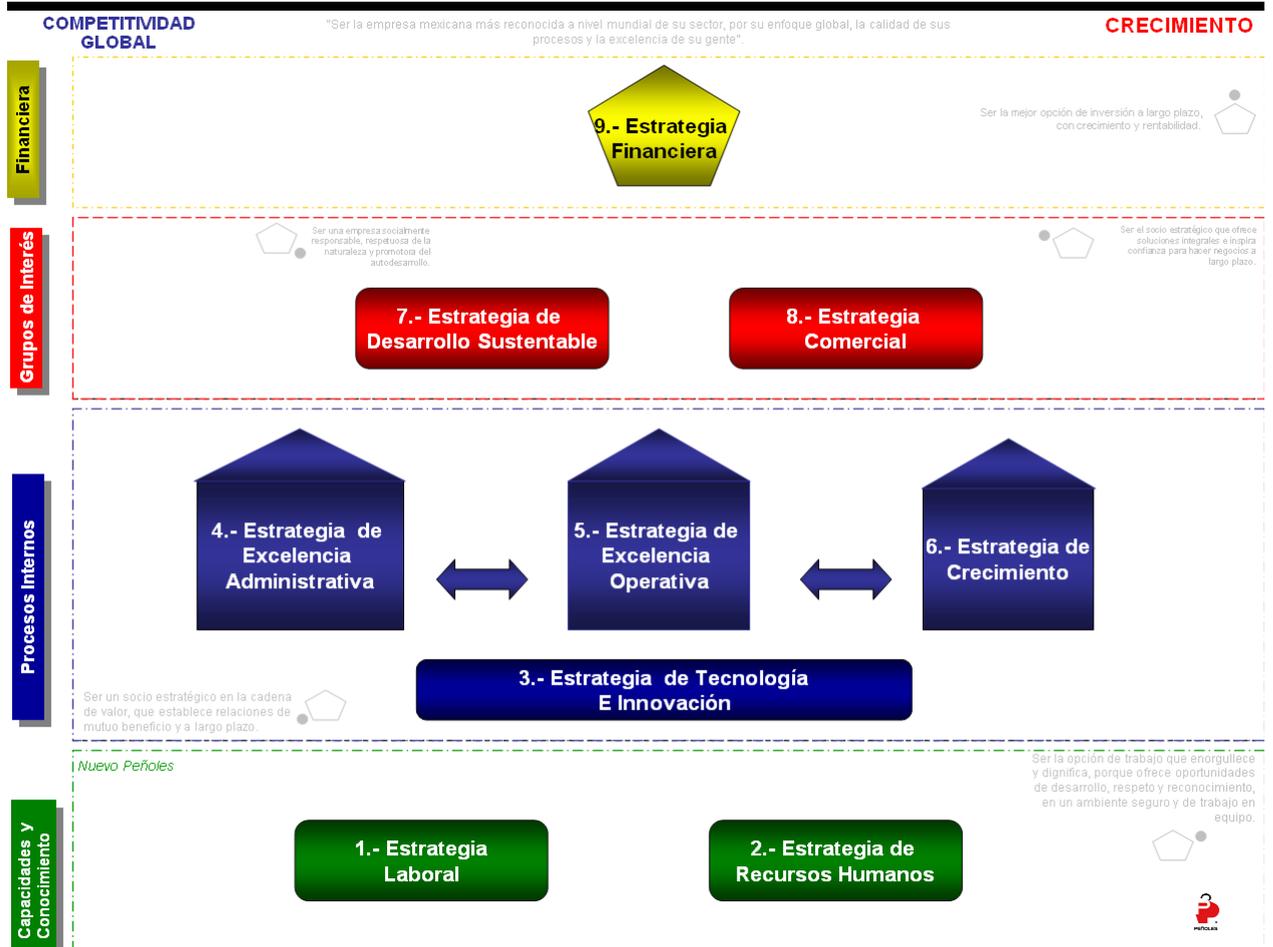
Febrero 2007

Afortunadamente, con el apoyo de algunos líderes estratégicos y la autorización del Director del Grupo Metales la decisión final fue evolucionar a una infraestructura tecnológica de automatización de clase mundial.

6. Fundamentación de la solución elegida

ALINEACIÓN ESTRATÉGICA.

Las siguientes láminas muestran el mapa estratégico del grupo Peñoles, en base al cual todo proyecto debe estar alineado, de tal manera que exista congruencia entre los planes operativos y las estrategias que establece la alta dirección.



En el caso concreto de nuestro proyecto, este alineado a las siguientes estrategias:

Estrategia 3. Estrategia de Tecnología e Innovación

Estrategia 5. Estrategia de Excelencia Operativa.

Estrategia de Tecnología e Innovación.

La siguiente lámina muestra para la estrategia de Tecnología e Innovación uno de sus objetivos, uno de sus lineamientos estratégicos, prioridades e indicadores de resultados.



Plan Operativo 2010 Metales

Elaborado por: Dirección Ejecutiva Metales - Químicos		Estrategia 2010-2014: III.- Tecnología e Innovación	Responsable (s): CIDT / Subdirección Técnica
Objetivo	<p>En Peñoles nos comprometemos en mantener un esfuerzo permanente y oportuno en la búsqueda, adecuación, asimilación y desarrollo de tecnologías sustentables relacionadas con nuestros negocios así como oportunidades de innovación en nuestros procesos.</p> <p>La tecnología será un elemento esencial en la productividad, eficiencia de nuestros procesos y la mejora en la competitividad de nuestros negocios.</p>		
Lineamientos	Prioridades 2010 – 2014	Indicadores de Resultado	Metas 2010
L.3.1 Todos los negocios que integran Industrias Peñoles deberán contar con un plan tecnológico de procesos y productos con visión de largo plazo.	– Coordinar el establecimiento de una política y lineamientos para que cada planta y unidad desarrolle su Plan Tecnológico a largo plazo	Avance del Establecimiento de la Política, Real / Programa (%)	Anexo: Plan Operativo CIDT Plan Operativo Subdirección Técnica
	– Elaboración de Planes Tecnológicos por Negocio y por Plantas	Avance del Plan Tecnológico por Negocio – Plantas, Real / Programa (%)	
		No. de Planes Tecnológicos Documentados, Actualizados y Aprobados	
		Avance en la ejecución de Planes Tecnológicos, Real / Programa (%)	
		No. Procesos con Nuevas Tecnologías Implantadas	
No. Productos con Nuevas Tecnologías Implantadas			

Enseguida subrayo los puntos en donde la automatización puede tener un impacto significativo en el logro de los objetivos, lineamientos y prioridades estratégicas:

Objetivo: En Peñoles nos comprometemos en mantener un esfuerzo permanente y oportuno en la búsqueda, adecuación, asimilación, y desarrollo de tecnologías sustentables relacionadas con nuestros negocios así como oportunidades de innovación en nuestros procesos.

Lineamientos: Todos los negocios que integran Industrias Peñoles deberán contar con un plan tecnológico de procesos y productos con visión a largo plazo.

Prioridades:

- Coordinar el establecimiento de una política y lineamientos para que cada planta y unidad desarrolle su Plan Tecnológico a largo plazo.
- Elaboración de planes tecnológicos por negocio y por área.

Los principales indicadores de resultados relacionados con nuestro proyecto son:

- Avance del Plan Tecnológico por Negocio – Planta.
- Avance en la ejecución del Plan tecnológico
- Número de procesos con nuevas tecnologías implantadas.

- Número de productos con nuevas tecnologías implantadas

Estrategia Excelencia operativa.

La siguiente lámina muestra para la estrategia de Excelencia Operativa uno de sus objetivos, uno de sus lineamientos estratégicos, prioridades e indicadores de resultados.



Plan Operativo 2010 Metales

Elaborado por:	Estrategia 2010-2014:	Responsable (s):	
Dirección Ejecutiva Metales - Químicos	V.- Excelencia Operativa	Gerencias de Plantas/ Gerencias de Áreas de Apoyo	
Objetivo	En Peñoles estamos comprometidos en buscar que todas nuestras operaciones cuenten con los mas altos estándares de operación y en donde las mejores prácticas sean asimiladas y aplicadas, lo que deberá de reeditar en procesos productivos, eficientes, de calidad y competitivos a nivel mundial. La Excelencia Operativa deberá de traducirse en productos y servicios competitivos para nuestros clientes y rentables para nuestro negocio.		
Lineamientos	Prioridades 2010 - 2014	Indicadores de Resultado	Metas 2010
L.5.1 Mantener competitividad en costos y eficiencia operativa en todos nuestros procesos.	– Definir parámetros básicos de evaluación de efectividad de cada proceso: volúmenes, recuperaciones, diluciones, consumos unitarios, implementando las mejores prácticas, buscando la mejora continua.	Número de Procesos con Plan de Calidad	Anexo: Plan Operativo Plantas Plan Operativo Áreas de Apoyo
		Procesos en Control Automático, (%)	
		Procesos en Control Manual, (%)	
		Proceso en Control Estadístico, (%)	
		Desempeño de los Procesos, (Cpk's)	
		Desempeño de los Productos, (Cpk's)	
		Capacidad de los Procesos, (%)	
		Producto No Conforme, (%)	
		Producto Reclasificado / Reprocesado, (%)	
		Procesos con Proyectos de Mejora, (%)	
Mejora en la Eficiencia de lo Procesos, (%)			

Enseguida subrayo los puntos en donde la automatización puede tener un impacto significativo en el logro de los objetivos, lineamientos y prioridades estratégicas:

Objetivo: En peñoles estamos comprometidos en buscar que todas nuestras operaciones cuenten con los más altos estándares de operación y en donde las mejores prácticas sean asimiladas y aplicadas, lo que deberá reeditar en procesos productivos, eficientes, de calidad y competitividad a nivel mundial.

Lineamiento: 5.1 Mantener competitividad de costos y eficiencia operativa en todos nuestros procesos.

Prioridades: Definir parámetros básicos de evaluación de efectividad de cada proceso: volúmenes, recuperaciones, diluciones, consumos unitarios, implementando las mejores prácticas, buscando la mejora continua.

Los principales indicadores de resultados relacionados con nuestro proyecto son:

- Procesos en control automático, (%)

- Procesos en control manual, %
- Desempeño de los procesos (Cpk's)
- Capacidad del proceso, (%)
- Mejora en la eficiencia de los procesos, (%)
- Mejora en la eficacia de los procesos, (%)

La siguiente lámina muestra la cédula estratégica creada por el equipo del proyecto en donde se complementa a los objetivos estratégicos vistos antes con la descripción general del proyecto, sus objetivos específicos, metas, justificaciones estratégicas, económicas y técnicas.

GRUPO METALES

Cédula de Proyectos Estratégicos



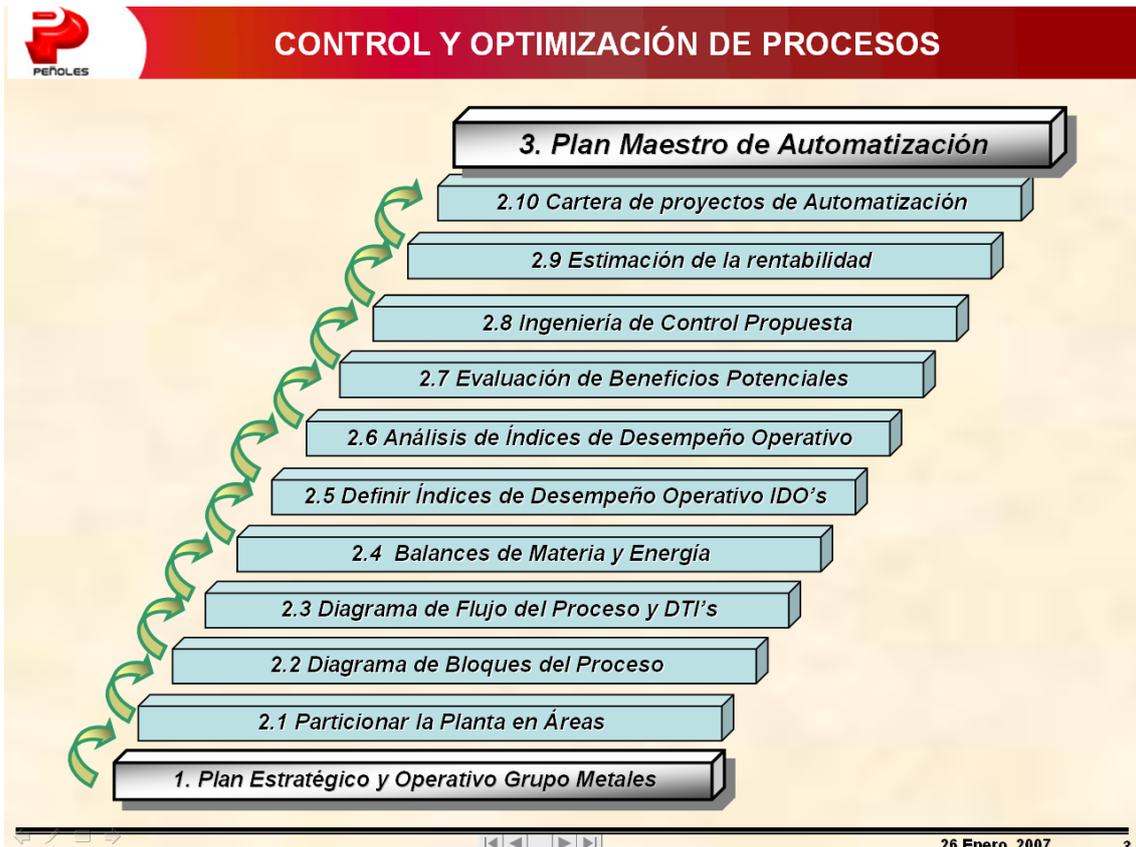
Nombre del Proyecto:
Automatización Control y Optimización de Procesos de Producción
Objetivo Estratégico relacionado:
V. ESTRATEGIA EXCELENCIA OPERATIVA III. TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Lineamiento: L.5.1 Mantener competitividad en costos y eficiencia operativa en todos nuestros procesos
Lineamiento: 1.3.1 Todos los negocios que integran Industrias Peñoles deberán contar con un plan tecnológico de procesos y productos con visión de largo plazo.
Descripción del Proyecto:
Implementar una estrategia de Control y Optimización de Proceso a largo Plazo fundamentada en la documentación, conocimiento de los procesos y trabajo en Equipo
Objetivo del Proyecto
1. Mejoras significativas en aumento de productividad, reducción de costos, continuidad operativa, seguridad y desempeño ambiental.
2. Crear una infraestructura de comunicaciones, instrumentación, equipos y sistemas de control de procesos que nos permita flexibilidad y adaptación a diferentes estrategias operativas.
3. Sistemas de control de procesos que nos permitan flexibilidad y adaptación a diferentes estrategias operativas
3. Integrar los sistemas de Control de procesos a los sistemas de información del negocio para distribuir el conocimiento y facilitar la toma de decisiones en todos los niveles de la organización.
Meta del Proyecto
1. Elaborar un plan Maestro de Control y Optimización de Procesos con horizonte de 5 años.
2. Implantar el concepto de Planta Digital.
3. Implantar metodología para el desarrollo de los Proyectos de Control y Optimización.
4. Actualizar y estandarizar tecnologías de Control de Procesos
5. Certificar al personal en el desarrollo, operación y mantenimiento de los Sistemas de Control de Procesos.
6. Integrar los sistemas de información operativos y administrativos

JUSTIFICACIÓN
Estratégica:
1) Contar con un plan real y visión de largo plazo en Control y Optimización de Procesos
2) Formulación de la cartera de Proyectos de Inversión
3) Utilización efectiva de la información de Plantas
Económica:
1) Aumentos de productividad y reducción de costos de al menos 2%
2) Costos de Capital en proyectos adecuadamente calculados.
3) En proyectos de Optimización y Control eliminar las solicitudes complementarias
4) Mayor certeza en Evaluación económica de Proyectos
5) Estimación adecuada de montos de Inversión en los proyectos.
Técnica:
Estandarización tecnológica.
Instrumentación inteligente
Sistemas de control seleccionados en base a los procesos que van a controlar.
Administración de activos
Redes industriales redundantes, seguras y rápidas

7. Marco de aplicación

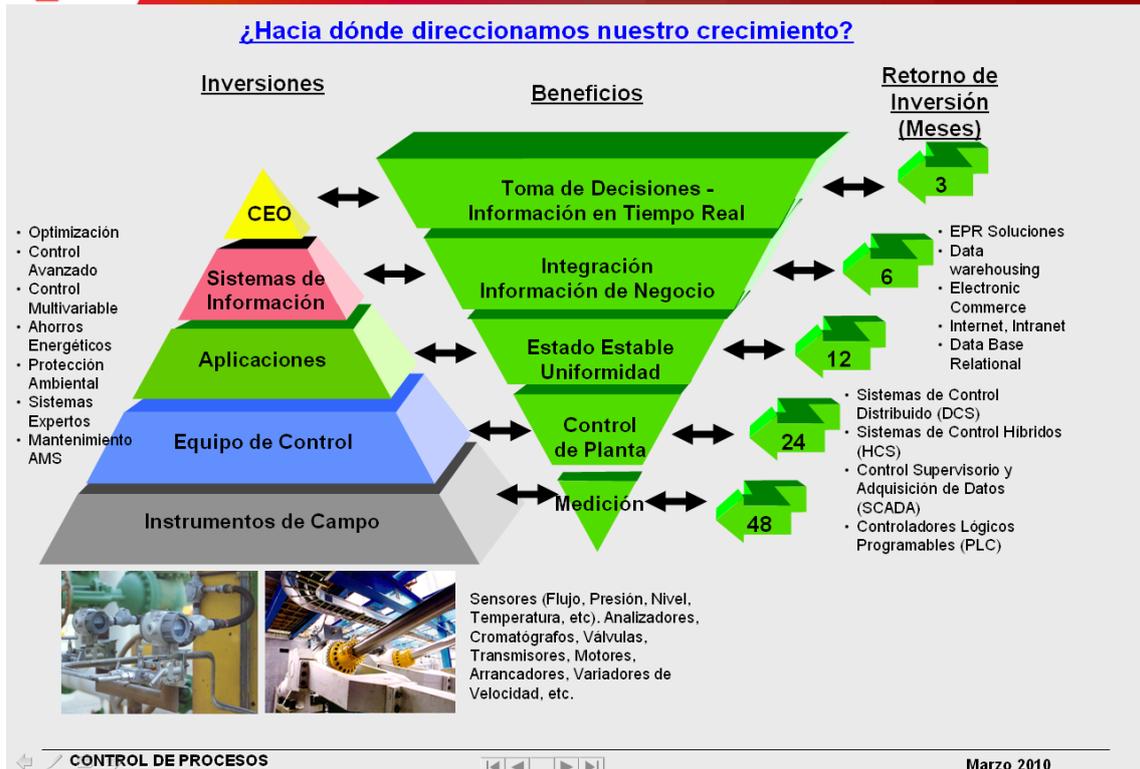
Para la selección y priorización de los proyectos decidimos elaborar un Plan Maestro de Automatización que nos permitiera estimar las inversiones y los beneficios esperados con un horizonte de 5 años, fundamentado en criterios de rentabilidad, de costos, estratégicos, de protección al medio ambiente y de seguridad.

La siguiente lámina muestra en forma general de abajo hacia arriba las etapas que se siguieron para llegar al plan maestro de Automatización.



Como se muestra en la figura, el plan maestro de automatización inicia a partir del Plan Estratégico y Operativo, que representa la base de la escalera. Como se puede ver en la figura, el plan se construye en base a la documentación de equipos y procesos de las plantas productivas, tales como diagramas de bloque, diagramas de flujo, balances de Materia y energía y así sucesivamente. Cada peldaño nos va dando información importante que nos permite ir seleccionando los proyectos que mejor apoyen a las estrategias de los negocios.

La siguiente lámina fue presentada para explicar a los niveles ejecutivos que los niveles de inversión más altos y con mayor tiempo de retorno de la inversión están en la parte de los instrumentos de medición, válvulas de control y redes industriales, y que conforme se sube en la pirámide las inversiones son menores, también con menor tiempo de retorno de la inversión y con mayores beneficios económicos.



Esta gráfica se interpreta de la siguiente manera:

La pirámide de la izquierda representa el monto de las inversiones, mientras que la pirámide invertida de la derecha corresponde a los beneficios que se logran con esas inversiones.

Ejemplo: La instrumentación de campo (cualquier dispositivo que recibe una señal o estímulo, tal como presión, calor, movimiento, y responde a éste de alguna forma) en la base de la pirámide la izquierda y por lo tanto con mayor volumen, indica teóricamente que aquí es en donde más dinero se invierte, a su vez, este tipo de inversiones en la práctica se ha demostrado que tienen un tiempo de recuperación aproximadamente de 48 meses o 3 años. A su vez, los Equipos o sistemas de control tienen un monto menor de inversión y su tiempo de recuperación es aproximadamente de 2 años. Esto significa que mientras más altos estemos dentro de la pirámide de inversión los tiempos de recuperación son más cortos. Obviamente esto no es una regla, puede haber inversiones en cualquier parte de la pirámide que tengan tiempos de recuperación mucho más cortos o mucho más largos.

Otro punto muy importante del significado de la pirámide, es que no se puede llegar a las partes altas de la pirámide si las plataformas de las partes inferiores no están bien sustentadas.

7.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

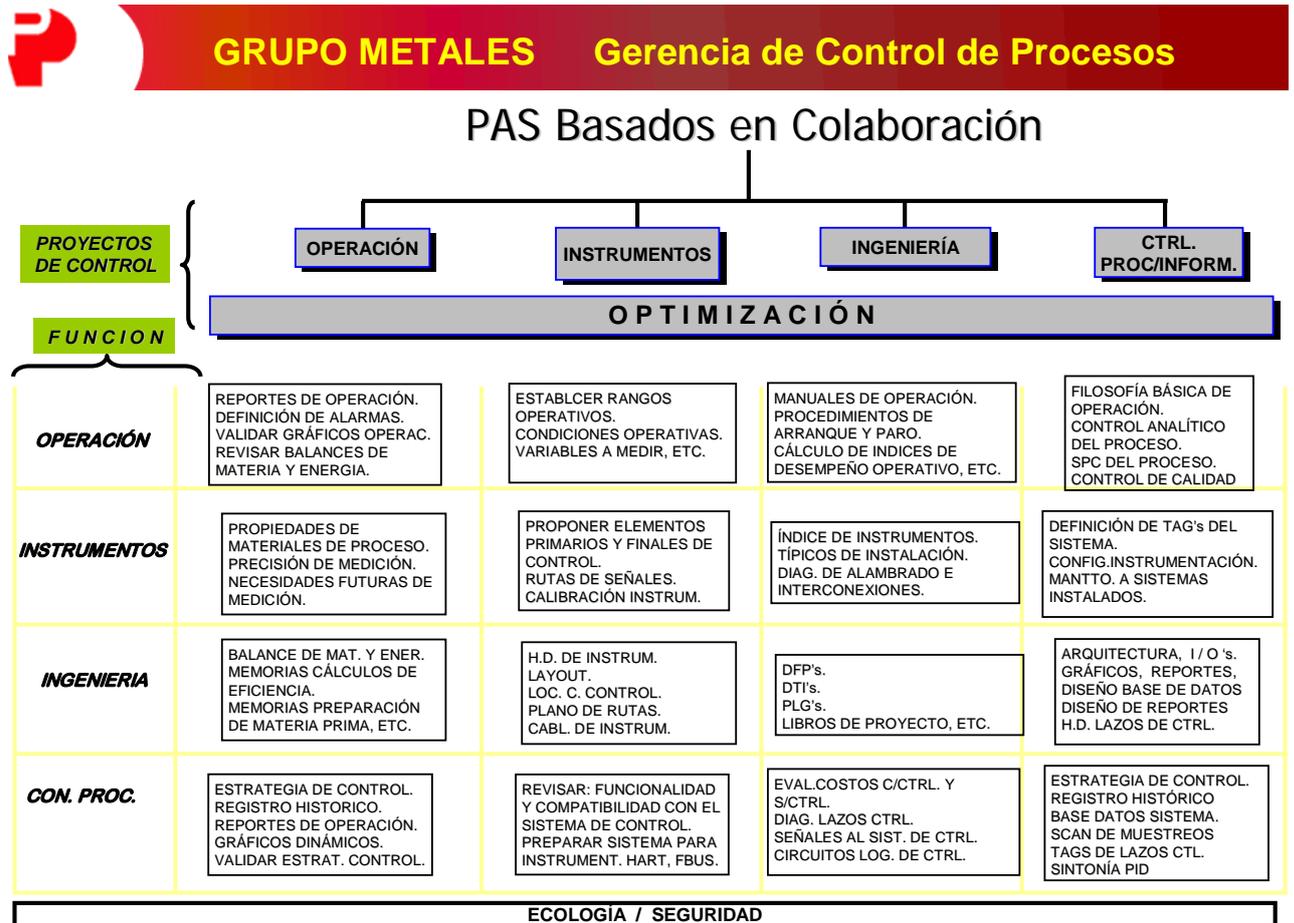
OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos generales establecidos por el equipo del proyecto validado por los niveles directivos y gerentes de planta, para todos los proyectos de automatización fueron los siguientes:

1. Que cumpla requerimientos de optimización, control y monitoreo requerido por las áreas operativas.
2. Cero paros de planta por problemas del sistema de control.
3. Vida útil de la tecnología de mínimo 10 años
4. Proyecto concluido en tiempo
5. Proyecto concluido en presupuesto
6. Logar los objetivos de rentabilidad (tasa interna de retorno, años de recuperación, valor presente neto, etc.) establecidos en cada proyecto.
7. Personal de operación, mantenimiento, instrumentación, y control de procesos capacitado y certificado en el uso de la tecnología instalada.
8. Documentación completa y de fácil acceso.
9. Rápida y Mejor integración con otras estrategias o tecnologías.

7.2 CREACIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO.

Para asegurar el cumplimiento de estos objetivos se estableció que todos los proyectos de automatización y control se desarrollarán como un trabajo colaborativo entre los siguientes departamentos: Operación, Ingeniería, Instrumentación y Control de Procesos, además de otros departamentos dependiendo de la naturaleza del proyecto. La siguiente lámina indica los niveles de responsabilidad y participación de los diferentes departamentos involucrados en los proyectos de automatización.



7.3 SELECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA.

Las inversiones en infraestructura de automatización son muy elevadas y se espera que estén en operación continua y altamente confiable por periodos mínimos de 10 años.

Por esto, se requiere asignar a expertos en las diferentes disciplinas de la automatización la muy importante tarea de seleccionar las mejores tecnologías de nivel mundial conocidas hasta ese momento, para el tipo de procesos que se requiere controlar.

Como ejemplo, para la selección de los Sistemas de Control Distribuido se creó un método de evaluación que consideraba 55 diferentes aspectos a evaluar. En la siguiente lámina presento solo algunos de estos criterios:

ASPECTOS PARA LA EVALUACIÓN TÉCNICA	PROVEEDOR A	PROVEEDOR B	PROVEEDOR C.
1. Número máximo de estaciones de operación por sistema.	De manera directa 64. Con servidores y clientes usando un web server tiene capacidad prácticamente ilimitada.	Las que se adquieren en el futuro con sus respectivas licencias.	ProcessLogix R500 Soporta hasta 40 Estaciones de Operador por Sistema.
2. Software de la base de datos de control.	Delta V. Basado en Objectivity.	Base de Datos propietaria basada en el RSLogix 5000.	Microsoft SQL Server 7.00.961
3. Tipo de red de Control. (Propietaria o Estandarizada).	Estandarizada tipo HSE o Ethernet TCP/IP	Utiliza redes estándares como Ethernet TCP/IP y/o ControlNet como redes de control.	Existen básicamente 2 tipos de redes que pueden ser utilizadas para Control en el sistema ProcessLogix R500 <ul style="list-style-type: none"> • EtherNet/IP. • ControlNet.
4. Procesador del Controlador (indicar marca y modelo y memoria std. Y máxima).	Microprocesador tipo PowerPC Motorola MPC860P con 14 MB de memoria RAM y comunicaciones directas en ethernet 10/100 (MD Controller)	ControlLogix 5555 con 1.5 MB RAM Marca Allen Bradley Cat. 1756-L55M13	El procesador del Sistema ProcessLogix R500 es el PLX-52 de Rockwell Automation. Este módulo utiliza un Microprocesador PowerPC MC603 de 100 Mhz.
5. Tolerancia a falla de energía, tanto en estrategia de control, como en	Sí, se cuenta con tolerancia a falla en energía con el uso de dos o más	El controlador dispone de una Sola Fuente por BackPlane	El procesador PLX-52 está construido con un compartimiento para

memoria del controlador.	fuentes de poder que pueden estar alimentadas por diferente suministro de energía a su vez.		alojar una batería de litio para el respaldo de la base de datos de la aplicación.
6. Número Máximo de puntos por controlador (Incluyendo tanto puntos de monitoreo como de control propiamente).	500 puntos para control con conexión directa y 5000 para monitoreo usando interfaces seriales	Depende del Hardware pero es relativamente más limitado que los Sistemas de Control Híbridos.	El máximo número de puntos por controlador PLX-52 es de 1000 puntos.

A cada punto se le asigna una ponderación.

Con este método, cuando se decide seleccionar una tecnología, el proveedor que tenga mayor puntuación es el seleccionado y en la mayoría de los casos, esta tecnología se convierte en nuestro estándar de facto.

La siguiente lámina presenta las características, funcionalidades y facilidades mínimas que deben cumplir los sistemas de control.

CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

3. Sistemas de Control de Procesos



- 1) Operación
- 2) Ingeniería Control
- 3) Aplicación

- Configuración
- Control / Variantes
- Operación
- Tendencias
- Registro Histórico
- Control Estadístico
- Fuzzy
- Neuronal
- Diagnóstico
- Inspección de Lazos
- Sintonía de Lazos
- Simulación
- Admon. Del Mtto.
- Aplicación de Terceros
 - G2, IP21
 - Máximo, LIMS
 - WebServers, etc.



- Control Avanzado
- Redundancia
- Base de Datos Unica (Objetos)
- Cambios en Caliente
- Descargas en caliente
- Scan y Faseo de Lazos
- Secuenciamiento
- Regulación
- Subsistema de Diagnóstico
- Reporte Fallas (debug, track)
- Cambios en Caliente
- Escalamientos Embeidos
- Base de Datos Unica
- Tracking Diagnóstico



- Convensional 4-20 mA
- Fundación FieldBus
- Hart, Modbus, Profibus
- Device Net
- AMS

CONTROL DE PROCESOS
JUNIO 2007
11

Socios tecnológicos:

Como las inversiones en automatización son de largo plazo y generalmente para procesos críticos, complejos y de alto riesgo, no solo basta con hacer una evaluación de la tecnología per se, también es muy importante investigar a la empresa que está detrás de esta tecnología.

En seguida menciono los criterios que usamos para la selección de nuestros proveedores o como aquí también les llamamos, nuestros socios tecnológicos.

1. Seleccionar socios tecnológicos con experiencia comprobable con productos y servicios de clase mundial.
2. Seleccionarlo de las compañías líderes a nivel mundial en el manejo de procesos principalmente químicos y metalúrgicos.

Después del análisis de varios sistemas de control en el mercado, nuestra decisión fue la siguiente:

1. Para los procesos continuos. Sistemas de control de la marca Emerson.
2. Para los procesos discretos. Sistemas de control de la marca Rockwell.
3. Para procesos de movimiento de materiales, marcaje, pesaje y estiba. Robots de la marca ABB.

Instrumentación Inteligente:

Otra decisión muy importante, fue que para medir las variables de los procesos establecimos como estándar lo que se le conoce como Instrumentación Inteligente. Esta tecnología es relativamente nueva en el mercado mundial.

A diferencia de los instrumentos convencionales que solo miden una variable de procesos, los instrumentos inteligentes pueden medir hasta 4 variables diferentes, informan de su estado de “salud” (avisa si está descompuesto o necesita mantenimiento), capacidad de auto calibración, capacidades de control y otros. Esto representa una ventaja muy significativa en la confiabilidad y mantenimiento de los instrumentos, que se traducen en una mayor certidumbre en el control de los procesos de producción.

En la siguiente lámina se muestran las ventajas de los instrumentos inteligentes en comparación con la instrumentación convencional.

- Desviación del Contador de Ciclos de la Válvula
- Marca de la Válvula
- Criterio de Respuesta
- Error de Banda Dinámico
- Manejo de Señal
- Señal de Salida
- Etc....



- Configuración
- Estado/ Alertas
- Diagnóstico
- Cálculos



- Fallas Electrónicas
- Fallas de Sensor
- Condición de Proceso
- Alerta de Configuración
- Estimación de vida RTD
- Etc....



- Fallas Electrónicas
- Falla de Sensor
- Condición de Proceso
- Alerta de Configuración
- Impulso de Líneas Bloqueadas
- Etc....



- Fallas Electrónicas
- Falla de Sensor
- Inversión de Flujo
- Tubería vacía
- Error de calibración
- Condición de Proceso
- Alerta de Configuración
- Etc....

- Desgaste del Electrodo de PH
- Falla del Electrodo de Vidrio
- Falla del Electrodo de Referencia
- Recubrimiento del Electrodo de Referencia
- Envenenamiento del Electrodo de Referencia
- Etc....



**Instrumentación
Inteligente**

7.4 RESULTADOS HASTA LA FECHA.

Actualmente, todas las plantas del grupo metales cuentan con un plan Maestro de Automatización con un horizonte de 2 a 3 años.

En la siguiente lámina se presentan algunos de los proyectos que surgieron de este proyecto estratégico de automatización de una de las plantas operativas del Grupo Metales.

Proyectos de Control de Procesos en FERTIREY - 2009

Principales Acciones y/o Proyectos	Indicadores de Resultado	Valor 2009	Valor Ppto. 2010
2da. Parte de Sistema Instrumentado de Seguridad de Esferas.	Seguridad, Ambiental	1 incidente en manejo de amoniaco en planta.	0 accidentes mayores en manejo de amoniaco en planta
HAZOP-Reingeniería de área de amoniaco.	Seguridad, Ambiental	0 accidentes mayores en manejo de amoniaco en planta	0 accidentes mayores en manejo de amoniaco en planta
Migración de Sistema DeltaV	Evitar paros de planta por problemas en los sistemas de control	% Índice de actualización tecnológica.	% Índice de actualización tecnológica.
Lazos de Control de Cristalización	Mejorar la calidad del producto	Incremento de tamaño de cristal (2 % de prod.) malla +16	Incremento de tamaño de cristal (10% de prod.) malla +16
Integración CCM Proceso 1	Continuidad operativa	## Índice de disponibilidad de equipos eléctricos.	## Índice de disponibilidad de equipos eléctricos.
Plan maestro de Automatización de Fertirey	Índice de automatización	% Índice de actualización tecnológica.	% Índice de actualización tecnológica.
Optimizar desempeño de lazos con Plant Triage.	Continuidad operativa		
Administración de Alarmas	Continuidad operativa		
Reportes de Operación de Fertirey	Continuidad operativa		
Simulador de Sistema de Control de Esferas (BPCS y SIS).			

En seguida presento fotografías de la evolución en la infraestructura de automatización:

1. Modernización de los cuartos de control.

Antes:



Ahora:



2. Sistemas Inteligentes de Control de Motores.

Antes:



Ahora:



3. Fotos antes y después del proceso manual de pesaje, marcaje y estiba de barras de plata, al proceso automatizado con un robot ABB, considerado entre los líderes mundiales en Robótica.

Antes:



Ahora:



4. Fotos antes y después del sistema para controlar las esferas de amoniaco con un controlador especial para procesos de muy alto nivel de riesgo. Este sistema lo provee la empresa Emerson Process Management, considerada líder mundial en sistemas de Control Distribuido y Sistemas Instrumentados de Seguridad.

Antes:



Ahora:

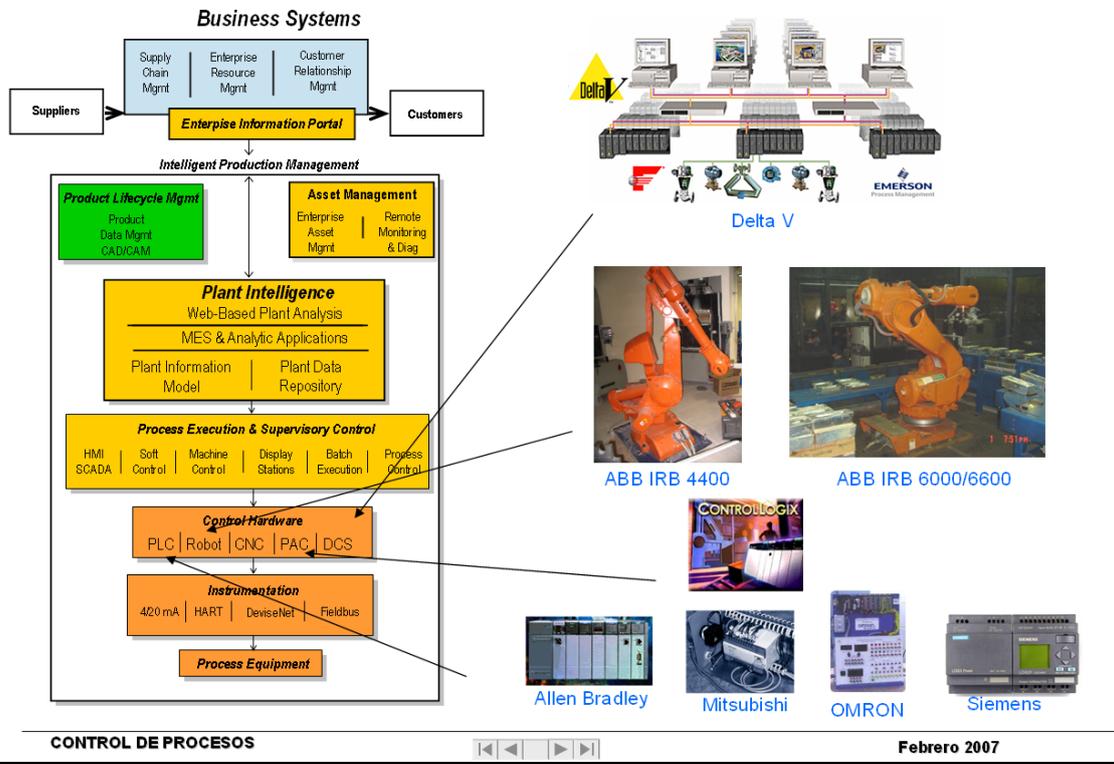


5. Fotos antes y después de la forma de operar los procesos, de tableros de control análogo a tecnología de control digital.

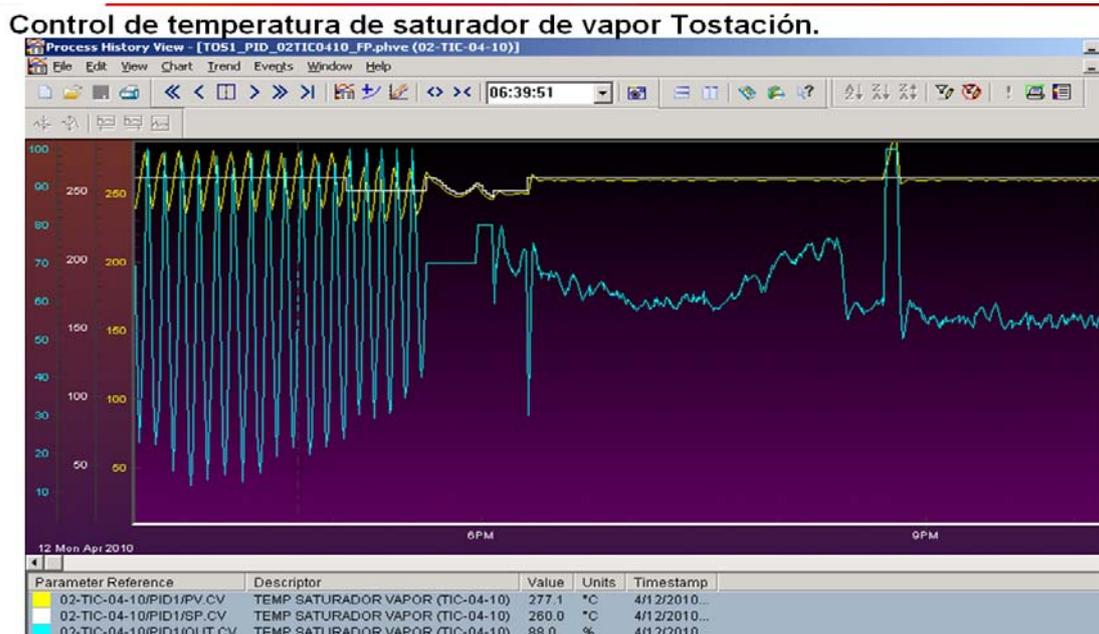


La siguiente lámina presenta algunas de las tecnologías que nos permiten controlar y optimizar los procesos de producción desde el piso de planta hasta la toma de decisiones de los niveles directivos.

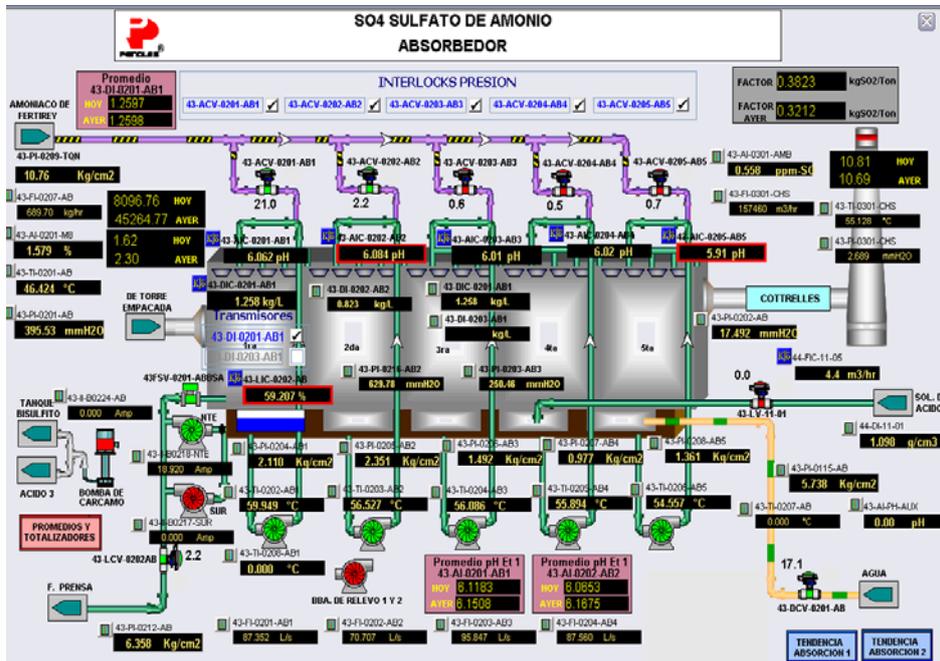
GRUPO METALES Gerencia de Control de Procesos



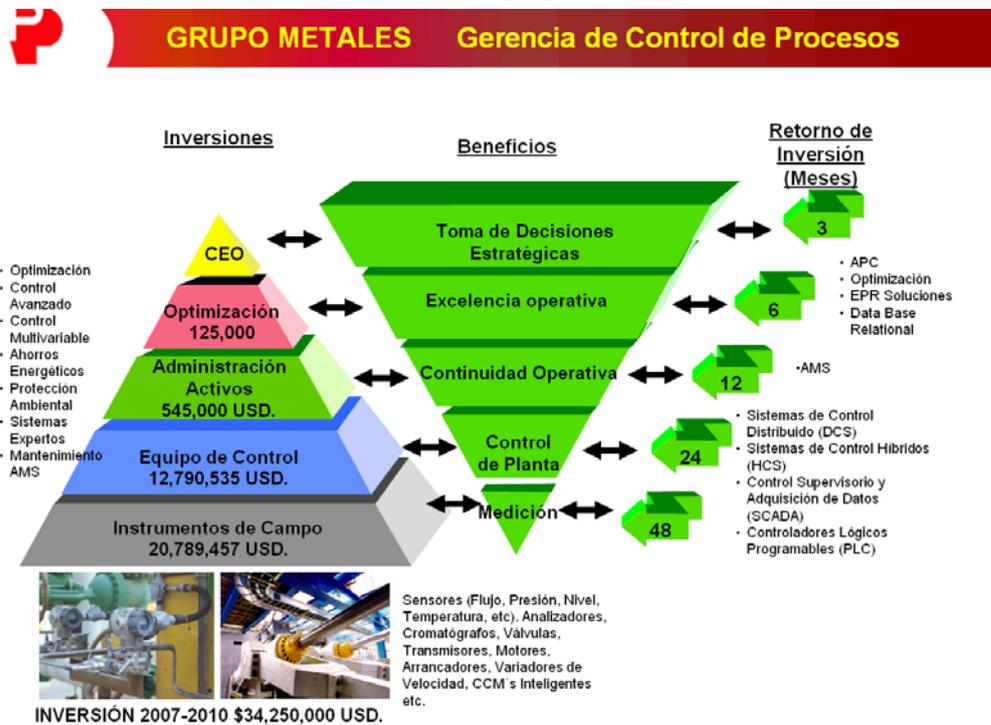
Ahora, el operador puede ver en línea y en tiempo real como se está comportando su proceso, y puede en caso necesario tomar acciones para mejorar el desempeño de los procesos operativos, como se puede ver en la gráfica siguiente.



A diferencia de los tableros de control, ahora el operador puede ver todos los equipos y variables que intervienen en sus procesos, en línea y en tiempo real, que le permite realizar su trabajo en la forma más eficiente posible.



Un resultado realmente importante del proyecto es que entre los años 2007 al 2010 se realizaron inversiones de 34 millones de dólares automatización y control, cantidad significativamente mayor a lo que se invertía en años anteriores.



29 noviembre 2010

34

Como más importante de los proyectos de control es su nivel de rentabilidad. En la siguiente lámina se muestran los resultados financieros de solo uno de los múltiples proyectos que se han ejecutado hasta la fecha.



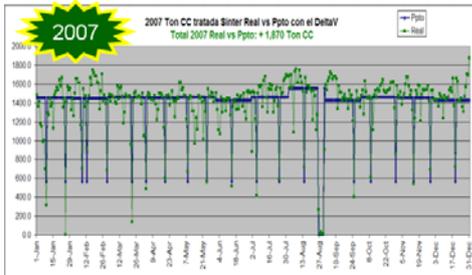
Grupo Metales

Fundición

Control de Procesos



Área:	Sinter	Responsable (Control):	Marcos Fco. Moreno Molina
Proyecto:	Optimización de Sinter Etapa 3	Presupuesto ejercido:	480,000 USD



Cumplimos con la Rentabilidad del Proyecto

a) Incremento de 2,500 Ton de CC adicionales al Presupuesto del 2006 (503,348 Ton CC)

Presupuesto 2006	503,348
Beneficios Calculados en Ton CC	2,500
Producción Comprometida	505,848
Producción Real en 2007	508,597
Beneficios adicionales a las 2500	2,749



b) Beneficios Anuales por utilización de Instrumentos Inteligentes con Diagnóstico: \$14,000 USD

- Se ha reducido el reemplazo de transmisores en 5 unidades y su ahorro en mano de obra.

Beneficios Totales Projectados: \$157,200 USD

Beneficios Totales Anuales Reales: \$164,000 USD

@ 60 USD margen de tratamiento

¡ Son superiores a los proyectados !

Rentabilidad Projectada

TIR	16.09%
VNP, USD	\$ 20,030
TR	9 años



¡ Rentabilidad Real !

TIR	17.11%
VNP, USD	\$ 39,141
TR	8.6 Años

Grupo Metales

7.5 Cómo se está llevando el proyecto a la fecha.

Después de más de 5 años de su inicio, el plan maestro de automatización sigue en proceso de evolución e implantación.

Como una forma de determinar el nivel de automatización de las diferentes plantas del Grupo Metales, creamos un método para determinar un índice de actualización tecnológica que nos permitiera identificar el nivel de avance en los temas más importantes de nuestra estrategia tecnológica que incluye lo siguiente: sistemas de control, redes industriales, instrumentación inteligente, administración de activos, dispositivos inteligentes y control avanzado.

Este índice se construye haciendo un inventario de infraestructura de todos los procesos operativos de las plantas para determinar su nivel de avance con los siguientes criterios:

1. Si el proceso cuenta con infraestructura completa y moderna le corresponde una calificación de 3.
2. Si el proceso cuenta con infraestructura completa pero obsoleta le corresponde una calificación de 2.
3. Si el proceso cuenta con infraestructura incompleta y obsoleta le corresponde una calificación de 1.
4. Si el proceso no cuenta con una infraestructura le corresponde una calificación de 0.

La lámina siguiente muestra el resumen del índice de actualización tecnológica de todas las plantas del grupo metales.

GRUPO METALES-QUÍMICOS Gerencia de Control de Procesos

ÍNDICE DE ACTUALIZACIÓN TECNOLÓGICA								
Planta	Sistemas de Control	Redes Industriales	Instrumentación Inteligente	AMS	Dispositivos inteligentes	Control Avanzado	• Índice 2009	• Meta 2010
Fundición	2.4	2.0	1.6	1.6	2.0	1.6	62%	65%
Zinc	2.5	2.6	2.0	1.3	1.3	1.3	60%	65%
Refinería	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	0	41%	47%
Fertirey	1.8	1.8	1.8	1.7	2.2	0.0	52%	56%
Bermejillo	1.6	1.6	1.8	1.2	1.4	1.2	49%	55%
Aleazín	2.0	2.0	2.0	0.0	2.0	0	44%	45%
Trat. de Aguas	3.0	1.5	2.0	2.0	2.0	0.0	58%	62%
Grupo Metales	2.1	1.9	1.8	1.3	1.7	0.6	52%	56%

2.5 - 3.0		Tecnología Actualizada
1.5 - 2.4		Tecnología Parcialmente Actualizada
0.5 - 1.4		Tecnología Obsoleta
0		No se tiene tecnología de control

En color verde, con índice entre 2.5 y 3 lo consideramos un proceso con excelente infraestructura de automatización. El objetivo en estos casos es hacer las inversiones para mantenerlos en estas condiciones.

En color amarillo, con índice entre 1.5 y 2.5 representa los procesos parcialmente actualizados.

En color naranja, con índice entre 0.5 y 1.4 representa los procesos parcialmente actualizados.

En color rojo, con índice de 0 representa los procesos que no tienen infraestructura de automatización.

Este índice, en combinación con la identificación de los procesos críticos, son los que determinan las prioridades de inversión en automatización para los siguientes años.

Las dos últimas columnas de la derecha representan el porcentaje de automatización por planta, idealmente 100% si todos los procesos estuvieran automatizados. Aunque sabemos que no todos los procesos necesariamente deben ser automatizados, ya sea por que no tienen una función crítica, no es rentable su automatización, o no se conoce un equipo con el que se les pueda automatizar, este indicador nos es de utilidad para identificar el nivel de avance y el avance al que pretendemos llegar con las inversiones que se harán en los siguientes años.

8. CONCLUSIONES.

Las experiencias que podemos compartir después de aproximadamente 5 años de trabajar en este importante y complejo proyecto son las siguientes:

1. Las inversiones en automatización son altamente rentables.
2. Los proyectos deben estar perfectamente alineados a los planes estratégicos del negocio.
3. El nivel de automatización de una empresa es un indicador significativo en su nivel de competitividad.
4. Se requiere trabajar en una forma profesional en la selección de tecnologías de medición, control y optimización.
5. Los resultados de las inversiones en automatización deben reflejarse en los resultados financieros y operativos del negocio.
6. La automatización requiere de expertos en sus diferentes disciplinas.
7. Se requiere de expertos para orientar la administración del factor humano.
8. Se requieren expertos en la administración de proyectos.
9. Debe haber un fuerte nivel de liderazgo.

9. RECOMENDACIONES.

Como fue presentado este estudio de caso puede dar la impresión de que todo es cuestión de aplicar técnicas adecuadas en planeación estratégica, selección de tecnología, administración de proyectos, liderazgo, etc. y que los resultados se darán en forma natural. La realidad es que esto no es así de sencillo.

Durante todo el proceso, desde la concepción del proyecto pasando por la venta de la idea, su implantación y mantenimiento, se van teniendo un sin número de dificultades tanto técnicas como humanas que ponen en riesgo el proyecto, que pueden desvirtuarlo o pueden modificar su alcance.

La aplicación teórica de principio, técnicas y métodos de las diferentes disciplinas involucradas en proyectos de este tipo, no siempre dan el resultado esperado o dan resultados inciertos.

La razón de lo anterior es que en este tipo de proyectos complejos son muchas variables las que intervienen, algunas de ellas con muy poco control del grupo de trabajo asignado al proyecto, tales como los cambios económicos que afectan a nuestra industria; el factor humano con su natural resistencia al cambio o con intereses a veces hasta contradictorios, cambios en los presupuestos asignados a los proyectos; cambios en la demanda de los productos; cambios organizacionales; etc.

A pesar de todas las dificultades que seguramente se presentan en la mayor parte, si no es que en todos los proyectos importantes complejos y de largo plazo, creo que el factor que más influye en su resultado final es en el liderazgo y compromiso de la gente que participa en el equipo proyecto, y la eficiencia con que gestiona los siguientes procesos dentro de la administración de proyectos. Extracto del libro: *A guide to the Project Management Body of Knowledge, Third Edition (PMBOK Guide)*,

- Administración del plan del proyecto
- Administración de objetivos
- Prioridades del proyecto
- Control del alcance del proyecto
- Alcance del proyecto
 - Entregables
 - Objetivos del proyecto
 - Supuestos del proyecto
 - Restricciones del proyecto
- Calendarización del proyecto
- Roles y responsabilidades
- Plan de abasto
- Sistema de comunicación
- Organización del equipo proyecto
- Automotivación
- Dirección y control del equipo
- Estimación de costos
- Administración de la calidad
- Administration de riesgos.

Terminaré señalando que un equipo de proyecto motivado con buenos métodos de gestión no es suficiente para el éxito del proyecto, este equipo requiere de sentir un fuerte apoyo de la alta Dirección.

9. GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Actuador. Parte de la válvula. También llamado accionador o motor, puede ser neumático, eléctrico o hidráulico, pero los más utilizados son los dos primeros, por ser las más sencillas y de rápida actuación.

AMS. Sistema de Administración de Activos por sus siglas en inglés. Software utilizado para el diagnóstico, calibración, configuración, estado de “salud” de instrumentos, maquinaria y equipo de proceso.

Autómata. Ver robot.

Automatización. La automatización se refiere al uso de computadoras y maquinaria o equipo automatizado para la ejecución de tareas relacionadas con el negocio. Equipo automatizado puede extenderse desde un simple instrumento sensor (cualquier dispositivo que recibe una señal o estímulo tal como presión, calor, movimiento, y responde a éste de alguna forma), hasta un robot u otros sofisticados equipos y sistemas para controlar procesos industriales. La automatización de las operaciones abarca desde el control de una simple tarea hasta la automatización de toda una planta.

Control Avanzado. Es la aplicación de estrategias de control automático que trascienden y son las que usualmente se aplican en control de procesos. Estas estrategias pueden denominarse de “parámetros óptimos” ya que, partiendo de una estructura algorítmica fija, se modifican sus parámetros con el objeto de lograr la respuesta del proceso que mejor se adecue a los requerimientos del mismo, conforme a un criterio de optimización fácil de entender y manejar por un operador de planta.

Control Básico. Consiste en la aplicación de estrategias a un sistema para lograr que éste opere de manera más eficiente y confiable posible. Su aplicación se basa en los conceptos de medición, comparación, computación y corrección.

Control Multivariable de Proceso o MPC por sus siglas en inglés. El sistema utiliza un modelo matemático del proceso para predecir el comportamiento del sistema en el futuro frente a posibles acciones de control a aplicar. Se define un “horizonte de predicción” (tiempo sobre el cual se evalúan las posibles respuestas del sistema) y un “horizonte de control” (tiempo sobre el que las acciones de control pueden variar y después del cual se mantienen constantes). Se determina la acción de control óptima a aplicar al sistema para lograr la respuesta deseada del sistema dentro del horizonte de predicción previsto, tanto para la acción de control en el instante presente como en los futuros instantes de muestreo.

Equipo de control automático. Ver Sistemas de control.

Ethernet. Ethernet (también conocido como estándar IEEE 802.3) es un estándar de transmisión de datos para redes informáticas de área local que se basa en el siguiente principio: Todos los equipos en una red Ethernet están conectados a la misma línea de comunicación compuesta por cables cilíndricos.

Instrumentación de campo. Cualquier dispositivo que recibe una señal o estímulo, tal como presión, calor, movimiento, y responde a éste de alguna forma.

Instrumentación Inteligente. Aquélla capaz de modificar su comportamiento, tomando ciertas decisiones (en algunos casos hasta en tiempo real) en función de diversos valores de entrada o datos recogidos.

Inteligencia Artificial. La rama de la informática interesada en lograr que los ordenadores se comporten como seres humanos. La inteligencia artificial incluye: juegos, sistemas expertos, lenguaje natural (programación de computadoras para comprender idiomas), redes neuronales y robótica (programación de computadoras para ver y escuchar y reaccionar ante otros estímulos sensoriales).

Lazo de control. Es un segmento del sistema de control. Arreglo de elementos orientados al mantenimiento de condiciones específicas en un proceso, maquinaria o sistema.

Lógica difusa o Fuzzy logic. Es una forma lógica de multivalores derivados de la teoría fuzzy (difuso) para tratar con razonamientos que son robustos y aproximados más que con valores exactos, en contraste con valores binarios. Se basa en la aplicación de un álgebra difusa planteada por Lofti Zadeh, al tratar de representar el pensamiento lógico humano como una forma lógica matemática en la que un valor verdadero puede asumir valores continuos entre 0 y 1.

Optimización. Es la combinación de estrategias de control, que implica el obtener el mejor escenario de operación posible (maximizar y/o minimizar), sujeto a un conjunto de restricciones prevalecientes en el momento (costos de venta, capacidad instalada, composición de la materia prima, costo de los energéticos, disponibilidad de equipo, tasas de interés, etc.).

Punto de control o Set Point. Es el valor en un sistema de control automático que se desea alcanzar.

Redes Industriales de campo. Redes de comunicaciones utilizadas para intercomunicar entre sí sensores, válvulas, equipo de proceso, dispositivos eléctricos y sistemas de control.

Redes neuronales. Consisten en una simulación de las propiedades observadas en los sistemas neuronales biológicos a través de modelos matemáticos recreados mediante mecanismos artificiales (como un circuito integrado, un ordenador o un conjunto de válvulas). El objetivo es conseguir que las máquinas den respuestas similares a las que es capaz de dar el cerebro que se caracterizan por su generalización y su robustez. Una red neuronal se compone de unidades llamadas neuronas. Cada neurona recibe una serie de entradas a través de interconexiones y emite una salida.

Robot. El término Robot, proviene de la palabra checa “robota” que significa servidumbre. Robot se define como un manipulador multi-funcional reprogramable diseñado para mover material, partes o dispositivos a través de movimientos programados para ejecutar una tarea.

Sistemas de Control Distribuido. Se refiere a un sistema de control por lo general de un sistema de fabricación, proceso, o cualquier tipo de sistema dinámico, en el que los elementos de control no son centrales en la ubicación (como el cerebro), pero se

distribuyen en todo el sistema con cada componente sub-sistema controlado por uno o más controladores. Todo el sistema de los controladores está conectado a través de redes de comunicación y monitoreo.

Sistemas de Control. Son las computadoras, procesadores y estaciones de operación en donde se programan los algoritmos de control, las interfaces de operación (gráficos dinámicos, alarmas, reportes, tendencias) y el registro histórico de eventos, entre otros. En forma genérica principalmente son los siguientes: SCD (Sistemas de Control Distribuido), PLC's (Controladores Lógicos Programables) y Robots, cada uno de ellos para un propósito específico.

Sistemas Expertos. Son programas que emulan o buscan imitar dentro de un espacio definido el proceso de razonamiento y procesamiento del conocimiento de los humanos expertos, apoyado en la representación, la solución y el diagnóstico de situaciones reales. Forman parte de una categoría general de aplicaciones avanzadas de cómputo conocidas como *Inteligencia Artificial*. Para diseñar un Sistema Experto, es necesario un ingeniero del conocimiento, es decir, un individuo que estudie el cómo los expertos humanos toma decisiones y traduzca las reglas en términos que la computadora pueda entender.

TCP/IP. El nombre TCP / IP Proviene de dos protocolos, el Transmission Control Protocol (TCP) y el Internet Protocol (IP). Es la base del Internet que sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local y área extensa.

Válvula de control. Generalmente constituye el último elemento en un lazo de control instalado en la línea de proceso y se comporta como un orificio cuya sección de paso varía continuamente con la finalidad de controlar un caudal en una forma determinada.

Bibliografía y Cibergrafía:

Robert S. Kaplan, David P. Norton, *The Execution Premium*, Harvard Business Pres.

Robert S. Kaplan, David P. Norton *Alignment..* Harvard Business School Pres.

David I. Cleland & Lewis R. Ireland *Project Management: Strategic Design and Implementation*, fifth edition.

7009 *Curso de Implementación del Sistema DeltaV*, Emerson Process Management, Ed. 2009

7020 *Curso de AMS Device Manager*, Emerson Process Management, Ed. 2009.

Programación Básica Robot IRC-5. ABB.

Cibergrafía:

Reference for Business, Encyclopedia of Business, 2nd ed.,
<http://www.referenceforbusiness.com/small/A-Bo/Automation.html> Fecha de consulta
nov. 2010.

Project Management Institute. (2004). *A guide to the Project Management Body of Knowledge, Third Edition (PMBOK Guide)*. Newtown Square, PA: PMI. Fecha de consulta sep. 2010.

Empresa ABB. Robótica de
<http://www.abb.com.mx/product/es/9AAC910011.aspx?country=MX> Fecha de consulta
ene. 2011.

Empresa Rockwell Automation. PLC's
<http://www.ab.com/programmablecontrol/plc/> Fecha de consulta ene 2011.

Empresa Emerson Process Management. Sistemas de Control Distribuido DeltaV
<http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/deltav/Pages/index.aspx> Fecha de
consulta ene. 2011.

Empresa Emerson Process Management..Smart Wireless Instrumentation.
<http://www2.emersonprocess.com/en-US/plantweb/wireless/Pages/WirelessHomePage-Flash.aspx> Fecha de consulta ene. 2011.

Gensym. Sistema Expertos G2
http://dev.gensym.com/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=54 Fecha de consulta ene. 2011.

Empresa Emerson Process Management. Asset Management System
<http://www2.emersonprocess.com/en-US/brands/amssuite/Pages/AMSSuite.aspx> Fecha
de consulta ene 2011.

Empresa ExpertTune.

<http://www.experttune.com/plantriage.html> Fecha de consulta ene 2011.

Grupo Peñoles

<http://www.penoles.com.mx> Fecha de consulta may. 2011.