

17

Abril
Junio
2021

AADECA

La Revista de
los Profesionales de
Automatización y Control



En esta edición

- ▶ Sistemas instrumentados de seguridad,
por Roberto Varela
- ▶ Robótica en la industria 4.0,
por Alejandro Dovico
- ▶ Algunas aplicaciones posibles de control y automatización en upstream,
por Carlos Godfrid
- ▶ Wi-Fi 6 en la industria,
por Killian Löser
- ▶ Crónica de la idea, desarrollo y construcción de un vehículo eléctrico,
por Luis Buresti



FACULTAD
DE INGENIERIA

Universidad de Buenos Aires

Carrera de Especialización y Maestría en

Automatización Industrial



*Para especializarse en Automatización...
...¿por qué no volver a la Facultad?*



www.fi.uba.ar/es/node/2182
+54-11 5285-0866 - ecomunic@fi.uba.ar

Edición 17
Abril-Junio 2021

Revista propiedad:

AADECA

Asociación Argentina
de Control Automático

Av. Callao 220 piso 7
(C1022AAP) CABA, Argentina
Telefax: +54 (11) 4374-3780
www.aadeca.org

Coordinador Editorial:
Ing. Eduardo Alvarez, AADECA

Editor-productor:
Jorge Luis Menéndez, Director



Av. La Plata 1080
(1250) CABA, Argentina
(+54-11) 4921-3001
info@editores.com.ar

EDITORES www.editores.com.ar

Revista editada totalmente en la Argentina.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos a condición que se mencione el origen. El contenido de los artículos técnicos es responsabilidad de los autores. Todo el equipo que edita esta revista actúa sin relación de dependencia con AADECA.

Traducciones a cargo de Alejandra Bocchio; corrección, de Ing. Eduardo Alvarez, especialmente para AADECA Revista.

Estimados socios y amigos de AADECA

Nuestra Asociación siempre promoverá los conocimientos y avances en el campo de la automatización y control, ahora también, mediante la incorporación de todo lo relativo a la economía del conocimiento. Nos proponemos recuperar campos perdidos y alcanzar nuevas metas para el bien de nuestra sociedad local, aprovechando las facilidades que nos da la web para llegar a todos los rincones de nuestro país y de América Latina.

Ampliaremos la oferta de capacitaciones virtuales. Además de los cursos ya conocidos como Instrumentación y Control, destacamos el curso Ingeniería Básica de Instrumentación y Control, que ha tenido muy buena y numerosa recepción gracias a que responde a una necesidad planteada por profesionales, instrumentistas, técnicos de mantenimiento, estudiantes, y hasta docentes. Ahora, estamos programando un curso sobre IoT con fundamentos teóricos y participación de empresas asociadas. También, estamos planificando cursos sobre gestión empresarial que aborden temáticas como liderazgo, coaching, gestión de recursos humanos, gestión de activos, gestión de ventas. Sobre tecnología, abriremos cursos sobre robótica, celdas flexibles, industria 4.0, electroneumática con PLC, y una serie de módulos sobre hidráulica que otorgarán certificado de Técnico Especializado.

La divulgación de AADECA se multiplicará gracias a una gestión de las comunicaciones a través de todas las redes disponibles. Estamos llevando a cabo encuestas para conocer los intereses de todo el sector. También, estamos trabajando para conectar AADECA con todas las cátedras del país asociadas a la automatización y control.

Dentro de las actividades de divulgación y expansión, se realizará AADECA 2022, con todas las secciones y áreas de la edición 2020. Incorporaremos novedades que comunicaremos a su debido tiempo. Sobre si el encuentro será presencial o virtual, diremos que estamos pensando en una edición híbrida.

Estamos tratando de establecer relación con todas las empresas del área, siempre dando prioridad a las que con sus aportes ayudan a que AADECA pueda funcionar. Alentaremos la participación de las universidades nacionales y escuelas técnicas que tengan carreras afines, y en 2022 haremos lo propio con las de Latinoamérica.

AADECA también está comenzando a relacionarse con otras entidades intermedias y organismos estatales. Un ejemplo es el convenio marco con el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, que plantea impulsar la adopción de tecnologías relacionadas con el paradigma Industria 4.0 por parte de diferentes sectores de la producción de todo el país. Así como hicimos ese convenio, generaremos otros afines.

Por último, AADECA siempre apoyará las acciones a favor del desarrollo tecnológico y, en especial, en el área de la automatización, control, economía del conocimiento, y todas las ciencias que permitan el progreso del país y la región.

Creemos que no importa si las circunstancias son favorables o no, siempre seguiremos concretando lo necesario para que los objetivos se logren.

Cordialmente,

Ing. Eduardo Alvarez
Coordinador Editorial de la Revista de AADECA

En esta edición encontrará los siguientes contenidos

Artículo técnico

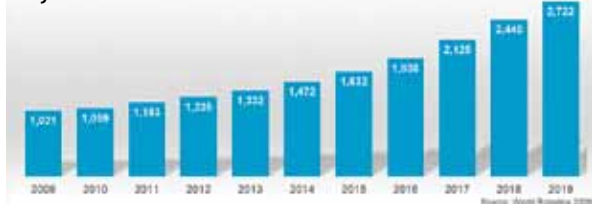
Sistemas instrumentados de seguridad
Roberto Varela

Pág. 4

Artículo técnico

Robótica en la industria 4.0
Alejandro Dovico

Pág. 10



Aplicación

Algunas aplicaciones posibles de control y automatización en upstream
Carlos Godfrid

Pág. 14



Noticia

AOG Patagonia llega en 2022
IAPG

Pág. 21

Descripción de productos

Sello de Buen Diseño para la unidad integral de seguridad
MICRO automatización

Pág. 22

Descripción de productos

Componentes de Profinet: dispositivo, controlador, supervisor
Autex

Pág. 24

Artículo técnico

Wi-Fi 6 en la industria
Kilian Löser

Pág. 26

Opinión

AADECA 2020, ¿qué aprendimos y qué oportunidades nos dejaron los paneles sobre Industria 4.0?
Andrés Gorenberg

Pág. 33

Descripción de productos

Soluciones concretas para llegar a la fábrica digital
Hernán López

Pág. 36

Artículo técnico

Crónica de la idea, desarrollo y construcción de un vehículo eléctrico
Luis Buresti

Pág. 38

Glosario de siglas de la presente edición

AADECA: Asociación Argentina de Control Automático

ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica): Asociación Brasileña de la Industria Eléctrica-Electrónica

AI (Artificial Intelligence): inteligencia artificial

ALUAR: Aluminio Argentino

ARSAT: Empresa Argentina de Soluciones Satelitales

BTEX: benceno, tolueno, etilbenceno, xileno

CEO (Chief Executive Officer): director ejecutivo

CIFACIS: Centro Internacional Franco-Argentino de Ciencias de la Información y de Sistemas

CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica

CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales

CONICET: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

COVID (Corona Virus Disease): enfermedad del virus Corona (o Coronavirus)

CQE (Certified Quality Engineer): ingeniero de calidad certificado

DCS (Distributed Control System): sistema de control distribuido

DIN (Deutsches Institut für Normung): Instituto Alemán de Normalización

DPI (Deep Packet Inspection): inspección profunda de paquete

EPA (Environmental Protection Agency): Agencia de Protección Ambiental (de Estados Unidos)

E/S: entrada/salida

FID (Flame Ionization Detector): detector de ionización de llama

GAN (Global Apprenticeship Network): red global de aprendizaje

IA: inteligencia artificial

IIoT (Industrial IoT): IIoT industrial

INVAP: Empresa de investigación y desarrollo de la provincia de Río Negro

I/O (Input/Output): E/S

IIoT (Internet of Things): Internet de las cosas

ISA (International Society of Automation): Sociedad Internacional de Automatización (ex-Sociedad Estadounidense de Automatización)

ISO (International Standard Organization): Organización Internacional de Normalización

IT (Information Technologies): tecnologías de la información

ITBA: Instituto Tecnológico de Buenos Aires

I+D: investigación y desarrollo

I+DEL: I+D orientado al desarrollo local

LOD (Limit of Detection): límite de detección

MBA (Master of Business Administration): maestría en administración de empresas

MIDI (Musical Instrument Digital Interface): interfaz digital de instrumento musical

MIT (Massachusetts Institute of Technology): Instituto Tecnológico de Massachusetts

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): cola de mensajes telemetría y transporte

NETMAL (Not Enough to Make a Living): no suficiente para vivir

PC (Personal Computer): computadora personal

PLC (Programmable Logic Controller): controlador lógico programable

PROFINET (Process Field Net): red de campo de proceso

PyME: pequeña y mediana empresa

RCM (Reliability Centered Maintenance): mantenimiento centrado en confiabilidad

UNR: Universidad Nacional de Rosario

USB (Universal Serial Bus): bus de serie universal

UTN: Universidad Tecnológica Nacional

VENG: Vehículo Espacial Nueva Generación

VOC (Volatile Organic Compound): compuesto orgánicos volátil

VPN (Virtual Private Network): red privada virtual



Cronograma de cursos virtuales en AADECA

15/jul		Introducción a los conceptos de IOT industrial y digitalización
20/jul	WEBINAR	Aplicación de la Ley de Teletrabajo
22-23/jul		Sistemas instrumentados de seguridad
27 y 30/jul 3/ago		Medición de caudal. Descripción de tecnologías y selección
28/jul	WEBINAR	Ética y Compliance
5/ago	WEBINAR	Buenas prácticas para un liderazgo efectivo
11 y 13/ago		Hidráulica para instrumentistas
19, 26/ago 2 y 9/sept		Buenas prácticas para un liderazgo efectivo
24/ago	WEBINAR	Comunicación y liderazgo en entornos técnicos
3/sept	WEBINAR	Robotización en PyMEs
6/sept	WEBINAR	Gestión de RRHH en el entorno tecnológico del siglo XXI
13 y 14/sept		Protección eléctrica de sistemas de instrumentación & control
17/sept	WEBINAR	Ciberseguridad industrial
21 y 22/sept		Comunicación efectiva
24/sept 1, 15 y 22/oct		Robotización en PyMEs
28-30/sept		Hidráulica proporcional
13-15/oct		Ventas técnicas
18 y 19/oct		Energía solar fotovoltaica
20, 27/oct 3, 10, 17, 24/nov		Introducción a la ciberseguridad industrial
21, 28/oct 4, 11, 18, 25/nov 2 y 9/dic		Programa de gestión integral de recursos humanos para no especialistas
29/oct	WEBINAR	Robótica en la Industria 4.0

Más información en

<https://aadeca.org/index.php/2021/06/07/cursos-y-webinars-2021/>

Nuevos medios de comunicación en AADECA

Estamos renovando nuestra imagen online y algunas formas de contactarnos han cambiado



www.facebook.com/aadecautomatico



www.linkedin.com/company/aadeca



www.instagram.com/aadeca



bit.ly/AADECA-CHANNEL



+54 911 3201-2325



administracion@aadeca.org

Firma convenio de colaboración INTI – AADECA

El pasado 6 de abril INTI y AADECA firmaron un convenio marco para contribuir a reducir la brecha digital en la industria y favorecer el acceso a la tecnología de los diferentes actores del sector productivo, en particular las pequeñas y medianas empresas.

Según Rubén Geneyro, presidente del INTI, “Planteamos la complementación de las capacidades y en lo que podamos colaborar en la articulación con el sistema científico y tecnológico pueden contar con nosotros”.

Raúl De Giovambattista, presidente de AADECA, complementa que “Nuestra asociación nuclea a integrantes de la economía del conocimiento. El trabajo con INTI y con el sistema universitario nos permitirá hacer un aporte a la reducción de la brecha digital en la industria”.

Cristina Boiola, miembro del Consejo Directivo de AADECA, será responsable de la coordinación con el INTI y universidades. ¿Querés saber más? ¡Podés contactarnos por mensaje directo!

Sistemas instrumentados de seguridad

Roberto Varela
roberto.varela@gmail.com

Acerca del autor

Roberto Eduardo Varela es ingeniero químico diplomado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata y especialista en Seguridad, Higiene y Protección Ambiental (SHPA), graduado en la Universidad Católica Argentina. Actualmente, se desempeña como consultor en sistemas instrumentados de seguridad y en seguridad funcional, ostentando avales como "Functional Safety Engineer" de TÜV Rheinland, e "ISA/IEC 61511 SIS Fundamentals Specialist". Es el autor del libro "SIS – Evolución, diseño y aplicación".

La seguridad de las personas y el ambiente es una de las mayores preocupaciones en la industria de procesos. Plantas de procesos en actividades tan disímiles como química, petroquímica, refinación de petróleo, extracción y explotación de petróleo y gas, minería, tratamiento de metales, etc., han implementado, a lo largo de su historia, diversas soluciones a este problema.

Un sistema instrumentado de seguridad es, entonces, un sistema compuesto por sensores, procesadores lógicos y elementos finales cuya función es llevar al proceso a un estado seguro cuando no se cumplen condiciones predeterminadas.

Para agendar



Para más información sobre sistemas instrumentados de seguridad, el autor dictará un curso en AADECA los próximos 22 y 23 de julio de manera virtual.
<https://aadeca.org/index.php/producto/sistemas-instrumentados-de-seguridad/>

Qué es un Sistema Instrumentado de Seguridad

La agencia Health and Safety Executive (HSE), de Gran Bretaña, define al sistema instrumentado de seguridad como "Un sistema diseñado para responder a condiciones en la planta que pueden ser peligrosas por sí mismas o que, si no se toma ninguna acción podrían, eventualmente, desarrollar una situación peligrosa. Dichos sistemas generan las acciones de salida adecuadas para mitigar consecuencias peligrosas o prevenir el peligro".

El esquema de la figura 1 define los límites de un sistema instrumentado de seguridad e identifica los dispositivos que pueden formar parte de él. Un sistema instrumentado de seguridad está constituido por un conjunto de dispositivos desde el sensor hasta los elementos finales, inclu-



Figura 1. Definición de "sistema instrumentado de seguridad"

yendo entradas, salidas, fuente de alimentación y unidades lógicas.

En la norma IEC 61508 de Seguridad Funcional, se define un sistema relacionado con seguridad como aquel que comprende todo lo necesario (equipamiento, programas básicos y de aplicación y elementos humanos) para realizar una o más funciones de seguridad, en donde la falla de la función de seguridad podría dar lugar a un incremento significativo del riesgo para las personas y/o el ambiente.

En la norma de Seguridad Funcional IEC 61511, se define al sistema instrumentado de seguridad como un sistema instrumentado usado para desempeñar una o más funciones instrumentadas de seguridad. Un sistema instrumentado de seguridad se compone de cualquier combinación de sensor(es), unidad(es) lógica(s), y elemento(s) final(es). Esto nos lleva a la definición de función instrumentada de seguridad como una función de seguridad que tiene un nivel de integridad de seguridad especificado necesario para alcanzar una condición de seguridad funcional.

Un sistema instrumentado de seguridad es, entonces, un sistema compuesto por sensores, procesadores lógicos y elementos finales cuya función es llevar al proceso a un estado seguro cuando no se cumplen condiciones predeterminadas.

- Respuesta de la comunidad a las emergencias
- Respuesta de planta a las emergencias
- Protección física pasiva (diques o barreras de contención)
- Protección física activa (diques de alivio, discos de ruptura)
- Sistema instrumentado de seguridad
- Alarmas críticas, intervención del operador
- Sistema básico de control de procesos

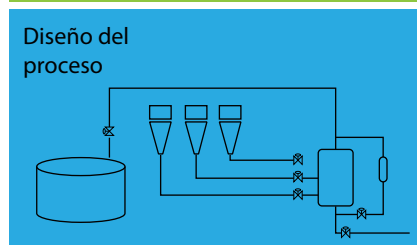


Figura 2. Capas de protección típicas en una planta de procesos moderna

Niveles de protección

Las plantas de procesos se construyen con múltiples niveles de protección, seleccionados y diseñados para impedir, mitigar y/o reducir las consecuencias de cada uno de los eventos identificados como potencialmente peligrosos.

Dentro de cada proceso existe un número variable de capas de protección que contribuyen a obtener una operación segura. La protección comienza con los elementos fundamentales del diseño del proceso: la selección misma del proceso y del sitio de instalación; la distribución de cada una de las secciones de la planta y los lugares de almacenamiento de productos peligrosos.

Los sistemas de control de proceso constituyen la primera capa protectora de los procesos. Funcionan de manera tal que mantienen las variables de proceso dentro de ciertos valores que se consideran seguros. Sin embargo, el nivel de protección que ofrecen no es suficiente. Es necesario complementarlos con sistemas dedicados e independientes del sistema de control de proceso,

por ejemplo, operadores asistidos por sistemas de alarmas.

Los sistemas de seguridad monitorean el estado de las variables y resuelven ecuaciones de estados lógicos del proceso para verificar que se cumplen las condiciones operativas aceptables de la planta. Ante la inminente aparición de condiciones anormales de operación, alertan al operador y, de ser necesario, interrumpen automáticamente las operaciones para evitar la ocurrencia de eventos que, potencialmente, puedan ser riesgosos, no solo para el proceso y la operación, sino también para la seguridad de las personas y el ambiente.

Las capas de mitigación de riesgos, como las que componen los sistemas de detección, alarma y extinción de incendios (fuego y gas), se completan con barreras físicas para contención de líquidos, sistemas de alivio, sistemas de respuesta a emergencias en planta y sistemas de respuesta a emergencias comunitarias.

Los sistemas de seguridad monitorean el estado de las variables y resuelven ecuaciones de estados lógicos del proceso para verificar que se cumplen las condiciones operativas aceptables de la planta.

Objetivo de diseño de un sistema instrumentado de seguridad

El objetivo de diseño de los sistemas de seguridad, explicitado desde el inicio mismo del diseño de la planta, es proteger las plantas de proceso durante las fases críticas de la operación: arranque, parada y situaciones de emergencia en ge-

neral; también deben brindar seguridad durante la operación normal, con el fin de evitar eventos que afecten la operación de la planta, la productividad, la integridad de los equipos de proceso, la seguridad de las personas y el ambiente.

Los sistemas de seguridad bien diseñados cuestan mucho dinero. Pero las pérdidas de producción, costos de reposición y/o reparación de equipos, indemnizaciones al personal de planta y a toda otra persona afectada por un siniestro y la reparación de daños al ambiente debidos a sistemas de seguridad no apropiados, pueden ser mucho mayores que el costo inicial de un sistema bien diseñado y adecuado a las necesidades de la planta. Esto significa que, alarmas inactivas, equipos de seguridad defectuosos y un mantenimiento deficiente del equipamiento de proceso y sus sistemas de protección no son tolerables. Los niveles de confiabilidad de la planta deben ser muy altos.

Sistemas instrumentados de seguridad, ¿cuál elegir?

El sistema de seguridad ideal debe ser capaz de proveer alta confiabilidad, alta disponibilidad y facilitar su mantenimiento, de manera tal que un desperfecto simple, no impida, o inicie, una acción de parada segura no programada.

En los sistemas implementados hace ya muchos años, estos requerimientos fueron difíciles de cumplir. Pero con el transcurso del tiempo, gracias a los progresos en la electrónica y a la experiencia ganada en la investigación de distintos accidentes, se ha mejorado notablemente el diseño, ingeniería e implementación de los sistemas de seguridad.

Además, se ha avanzado en el aspecto normativo a través de la labor de diversos organismos privados, como las normas IEC 61508 y 61511, de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés); así como también a través

de la gestión de leyes y normas impulsadas por los mismos gobiernos, como OSHA 1910.119 Act., las Normas de salud y seguridad ocupacional (OSHA, por sus siglas en inglés), y la Sección 304, 1990 “Clean Air Act Ammendments” (“Enmiendas a la Ley de Aire Limpio), en Estados Unidos. Asimismo, a través de la elaboración de prácticas recomendadas como la API 750 “Management of Process Hazards” (“Gestión de riesgos en los procesos”), del Instituto Estadounidense de Petróleo, y las “Guidelines for Safe Automation of Chemical Processes” (“Guías para la automatización segura de procesos químicos”) del Instituto Estadounidense de Ingenieros Químicos (AIChE, por sus siglas en inglés) a través del Centro para la Seguridad de Procesos Químicos (CCPS, por sus siglas en inglés).

Hay que destacar que todas las leyes, normas y prácticas recomendadas incluyen todos los temas que hacen a un sistema de seguridad: diseño, aplicación, documentación, equipamiento, programas de aplicación, test y verificación, entrenamiento del personal y mantenimiento.

La evolución de los sistemas de seguridad, que inicialmente se implementaban con relés, comenzó con la aparición en el mercado de los primeros equipos con electrónica de estado sólido. Su mayor desarrollo llegó a partir del uso de microprocesadores de 32 bits, que permiten la implementación de estrategias de protección complejas que aseguran la integridad de los sistemas de seguridad.

El sistema de seguridad ideal debe ser capaz de proveer alta confiabilidad, alta disponibilidad y facilitar su mantenimiento.

Aplicaciones de sistemas de seguridad

Las industrias de procesos en las que se aplican los sistemas instrumentados de seguridad son las siguientes (la lista no es excluyente):

- » Refinerías de petróleo
- » Plantas químicas y petroquímicas
- » Plataformas costa afuera de explotación de campos de gas y petróleo
- » Plantas de explotación de campos de gas y petróleo en tierra
- » Sistemas de transporte de petróleo y gas
- » Plantas de generación de energía eléctrica
- » Operación sin personal de plantas remotas

Algunas aplicaciones típicas incluyen:

- » Protección de calderas de generación de vapor y electricidad
- » Protección de máquinas rotativas (compresores y turbinas)
- » Protección de hornos de proceso
- » Encendido y control de quemadores
- » Control y protección de reactores químicos
- » Control y protección de calderas de recuperación (pulpa y papel)

En cuanto a la complejidad de los sistemas, estos se pueden clasificar como sigue:

- » Sistemas de parada de emergencia de unidades de proceso. Corren una lógica simple, son críticos para la seguridad y disponibilidad de la planta. Por ejemplo, los sistemas aplicados a calentadores y bombas de alimentación.
- » Sistemas de parada de emergencia para unidades de servicios generales. Ejemplo de esto son las calderas, turbinas y compresores. En general, la lógica de estas unidades es compleja: consiste en muchos pasos y se

cuencias. Tienen una gran dependencia de funciones de conteo y temporizado.

- » Unidades especiales de proceso. Estas unidades tienen una lógica compleja. Su disponibilidad es importante para la disponibilidad de la planta. Ejemplo de esto son las unidades de purificación de hidrógeno.
- » Áreas de carga dentro y fuera de la planta. En general, se utilizan sistemas de tipo de enclavamiento de seguridad. Su lógica de parada es moderadamente compleja.

La evolución de los sistemas de seguridad, que inicialmente se implementaban con relés, comenzó con la aparición en el mercado de los primeros equipos con electrónica de estado sólido.

Factores que se deben tener en cuenta para la selección de sistemas instrumentados de seguridad

Para evaluar los sistemas instrumentados de seguridad, se deben considerar, al menos, los siguientes factores:

- » Costo de inversión: incluye costos de equipos, programas base y de aplicación, ingeniería, instalación y puesta en marcha.
- » Costo de operación: comprende el mantenimiento, soporte por parte del proveedor y partes de repuesto durante la vida útil del sistema.
- » Vida útil: la cantidad de años en que se espera que el sistema sea utilizado efectivamente.
- » Confiabilidad: la probabilidad de que los componentes del sistema funcionarán apropiadamente durante un periodo dado de

años. Esta probabilidad está representada por el tiempo medio entre fallas.

- » Flexibilidad: la posibilidad innata del sistema para cambiar o modificar la lógica de parada y expandirla fácilmente.
- » Disponibilidad: el porcentaje de tiempo durante el cual el sistema es capaz de realizar la función para la que fue diseñado, durante un periodo dado de tiempo. Es una función de la confiabilidad del sistema.
- » Mantener la separación entre el sistema instrumentado de seguridad y el sistema básico de control de procesos: como regla general, las normas exigen dicha separación, promoviendo el uso de múltiples dispositivos o sistemas para segregar las funciones de control de las de seguridad.

Separación de sistemas

Las plantas de procesos emplean sistemas automáticos de control y de seguridad para producir, en forma consistente, productos de calidad, minimizando el trabajo manual del personal de producción, para reducir el error humano cuando se realizan tareas repetitivas, para aumentar la disponibilidad del equipamiento y la eficiencia de la producción y para mejorar la seguridad operacional.

Sistemas básicos de control de procesos

Para el control de procesos, se utilizan instrumentos para la medición de variables, reguladores, unidades de indicación y elementos finales de control. Estos equipos se diseñan, utilizan y mantienen según rutinas preestablecidas, y constituyen el primer nivel de seguridad del proceso.

Hoy en día los sistemas básicos de control de procesos están basados en microprocesadores y se

los conoce como sistemas de control distribuido. Son sistemas electrónicos programables modulares compuestos por distintas unidades para el control, visualización y registro de las variables de proceso. Han demostrado ser sumamente confiables, utilizando unidades redundantes en los casos que resulta necesario eliminar fallas de causa común. Una falla simple en un sistema básico de control de procesos se detecta rápidamente, ya que cada módulo corre diagnósticos para la detección de fallas de los componentes, que además se descubren por las características mismas de operación continua del sistema y de la dinámica del proceso. Su característica principal es que son activos, es decir dinámicos. Además, los sistemas de control de procesos deben ser flexibles y así permitir cambios frecuentes. Los parámetros de procesos, es decir, punto de ajuste de control, ajustes de acciones de control, operación manual-automática, etc. requieren cambios. Partes del sistema pueden operar en automático y, otras, en manual.

Sistemas instrumentados de seguridad

Frecuentemente, los dispositivos de medición se instalan en las plantas de procesos para realizar tareas de seguridad. El diseño de los sistemas de seguridad difiere significativamente de los sistemas básicos de control de procesos. Son sistemas que monitorean el estado de variables de procesos consideradas clave en el aspecto seguridad, resuelven ecuaciones lógicas de estado con el objeto de mantener la planta dentro de parámetros operativos aceptables, avisan al operador cuando se están generando condiciones anormales y, cuando es necesario, interrumpen en forma automática las operaciones de la planta para evitar la ocurrencia de eventos que pueden ser potencialmente peligrosos. La característica principal de estos sistemas es que son pasivos, no ejecutan ninguna acción hacia al exterior, a menos que exista una demanda del proceso.

Las normas y prácticas recomendadas requieren que ambos sistemas, el sistema básico de control de procesos y el sistema instrumentado de seguridad, estén separados. No se permiten modificaciones al sistema de seguridad a menos que estén debidamente fundamentadas y sean ejecutadas por personal autorizado, y no por los operadores de planta.

Conclusión

Los sistemas diseñados para control de procesos no son aceptables, en general, para seguridad. La principal razón es que los sistemas de seguridad incluyen autodiagnósticos extensos y dedicados. Esto se debe a que, como el sistema es pasivo, hay fallas que no se autorrevelan, las descubren los diagnósticos. Es necesario indicar que no todos los sistemas basados en microprocesador incluyen el nivel de diagnósticos requeridos por los sistemas de seguridad. La causa es muy simple: costo.

En general, se recomienda que los sistemas de seguridad sean totalmente automáticos y que su accionamiento no dependa de la intervención humana, ya sea operadores o personal de supervisión. La idea rectora es evitar accidentes por errores humanos. Dado que los sistemas instrumentados de seguridad son sistemas pasivos, los operadores deberían entrenar continuamente para saber responder en forma rápida a situaciones de emergencia, ejecutando las acciones correctas para prevenir o mitigar riesgos. Esto, además de ser costoso, dejaría librado al criterio del personal de planta la acción que se debe ejecutar, con lo que se corre el riesgo adicional de no responder a tiempo o de elegir una acción incorrecta, ya sea porque los elementos de juicio no son completos, porque se aprecia erróneamente la situación, porque no se da la importancia adecuada a avisos tempranos o porque, aun con todos los datos en la mano, se toma una decisión errónea. ■

Robótica en la industria 4.0

Ing. Alejandro Dovico
dovicoalejandro@yahoo.com.ar

Acerca del autor

Alejandro es Ingeniero en Automatización y Control Industrial por la Universidad Nacional de Quilmes, presentara su tesis en el MBA de la UTN y actualmente realiza una investigación para el doctorado, sobre Robótica con Inteligencia Artificial. Es Profesor Terciario y Post Universitario en la UTN y UNDEF. Desarrolló su carrera profesional en Techint Ingeniería, Total Austral Ingeniería y Johnson Controls. Realiza trabajos de asesoramiento industrial.

En su informe "Ingeniería para el desarrollo sostenible", la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) hace referencia al desarrollo tecnológico como factor fundamental para el progreso mundial, considerándolo impulsor del crecimiento económico y una herramienta para la disminución de la pobreza. En particular los procesos industriales han permitido mejorar la calidad de vida a un número cada vez mayor de personas, brindando entre otras cosas, oportunidades de trabajo, de desarrollo, de acceso a productos, recursos y alimentos. El modelo actual de desarrollo al ritmo de crecimiento poblacional se torna insostenible, es por esto que la producción a escala y la utilización de la tecnología en el proceso productivo permiten un mejor aprovechamiento de los recursos, reducción de costos y mayor accesibilidad para más personas.

Los modelos de negocios actuales se verán mejorados gracias a la información y trazabilidad que los productos lleven incorporados.

Para agendar



Para más información sobre la robótica en la Industria 4.0, el autor hará un webinar en AADECA el 29 de octubre a las 18:30 hs de manera virtual.

<https://aadeca.org/index.php/producto/webinar-abierto-robotica-en-la-industria-4-0/>

A nivel mundial, existe una idea evolucionista que hace referencia a que nos encontramos en la puerta de una revolución tecnológica sin precedentes, lo cual obliga a pensar estrategias que acompañen este cambio (Organización Internacional del Trabajo - Doc. N° 23 - Cambios tecnológicos y laborales. Sus implicancias en el mercado de trabajo de Argentina).

También resulta una oportunidad para aquellos trabajadores que se adapten al cambio tecnológico o se capaciten, lo cual los consolidará en los nuevos puestos de trabajo y en consecuencia serán más valorados. La mayor productividad y eficiencia de este cambio tecnológico otorgará mayor reconocimiento para aquellos trabajadores que colaboren y contribuyan con el cambio.

La humanidad vivió varias revoluciones industriales. Cada una de ellas produjo grandes cambios en los procesos productivos y en el estilo de vida de las personas. A pesar de la resistencia al cambio y el temor a lo desconocido, la evolución se masificó hasta convertirse en un estándar en común para las empresas.

El gran desafío no reside en la instalación de nuevas tecnologías, sino en la gestión del cambio para aprovechar las nuevas oportunidades que estas brindan.

Hacia un cambio disruptivo

Actualmente, el mundo está transitando una revolución industrial basada en la industria 4.0, la cual se caracteriza por la digitalización de las líneas de producción, fabricación dinámica y flexible a través de diversas herramientas como ser la realidad virtual, la inteligencia artificial (IA), la internet de las cosas (IoT), la robótica, el procesamiento en la nube, el análisis de datos, la impresión 3D, entre otras. También busca establecer una sinergia entre ellas y así mejorar y superar los procesos tradicionales.

La industria 4.0 produce un cambio conceptual de los productos manufacturados, brindando diversificación y adaptabilidad de los procesos productivos a los requerimientos de los usuarios. Esto flexibiliza de manera notable la industria moderna respecto de la tradicional.

Esta transformación actúa de manera disruptiva y genera mayor competitividad de la matriz industrial, promoviendo diferenciación, y otras ventajas para aquellos que la adopten.

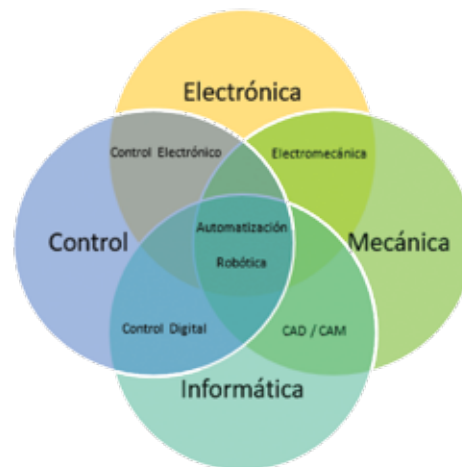


Figura 1. Disciplinas que integran la robótica

Para lograr una implementación correcta de estas tecnologías, es necesario tener un conocimiento acabado y específico de los alcances, de la infraestructura que se va a instalar y, sobre todo, de cómo gestionar los medios para que se logre un mejor aprovechamiento de las instalaciones y procesos productivos.

Algunos componentes tecnológicos de la industria 4.0

El internet de las cosas permitirá, de manera integral y colaborativa, que casi todos los componentes de la cadena de valor intervengan en el proceso. Es así como, al aprovechar los datos provenientes de diferentes equipos o productos, se podrá realizar trazabilidad e identificación en el proceso, posibilitando el monitoreo y el análisis, permitiendo diagnosticar, ajustar, modificar o intervenir si fuese necesario. También, brindando información para una toma de decisiones adecuada. De esta forma, los eslabones de la cadena productiva adquieren cierto grado de inteligencia, capacidad de monitoreo y sincronización.

Los modelos de negocios actuales se verán mejorados gracias a la información y trazabilidad

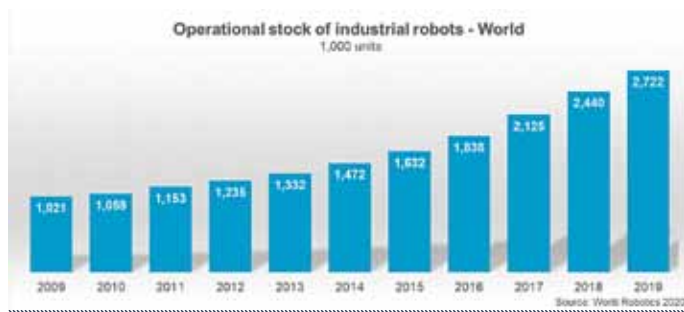


Figura 2. Incremento de la robótica a nivel mundial

que los productos lleven incorporados, lo que otorgará nuevos beneficios para usuarios y consumidores.

El análisis de los datos es un proceso importante a fin de implementar las ventajas distintivas en la industria 4.0. Para ello se debe integrar toda la información proveniente de fuentes heterogéneas, y esto se consigue estandarizando la información para lograr la interoperabilidad de los sistemas.

El gran desafío no reside en la instalación de nuevas tecnologías, sino en la gestión del cambio para aprovechar las nuevas oportunidades que estas brindan. El uso y la aplicación de manera útil y eficiente brinda un amplio horizonte para nuevos negocios y mejores calidad y producto.

La importancia de este cambio tecnológico radica en gestionar su máximo aprovechamiento en función del servicio para el desarrollo humano, promoviendo e impulsando las tecnologías que busquen cubrir necesidades y derechos básicos de manera equitativa y sostenible. Es importante aplicar la tecnología con una estrategia de integración, capacitación y actualización.

Uno de los componentes destacados y distintivos de la industria 4.0 son los robots, por medio de los cuales es posible mejorar la productividad, conseguir mayores niveles de precisión, repetitividad, mejorar estándares de calidad y realizar tareas peligrosas para el ser humano. Los procesos robotizados se pueden optimizar, y así lograr de manera distintiva una producción competitiva y



Figura 3. Índices de robotización del mundo

atractiva para mercados externos, promoviendo el desarrollo, el posicionamiento en la región o en el exterior, y favoreciendo la exportación.

Uno de los componentes destacados y distintivos de la industria 4.0 son los robots, por medio de los cuales es posible mejorar la productividad, conseguir mayores niveles de precisión, repetitividad, mejorar estándares de calidad y realizar tareas peligrosas para el ser humano.

Robótica: concepto y situación

La robótica está integrada por diferentes disciplinas: la electrónica, la mecánica, la informática y el control. Las interacciones entre ellas permiten conceptualizar a la robótica actual (ver figura 1).

Las grandes economías del mundo, y muchos otros países, utilizan de manera creciente la robótica en diferentes rubros y aplicaciones. La Federación Internacional de Robótica (IFR, por sus siglas en inglés) muestra un incremento en el uso

de esta tecnología año a año. En la figura 2 se observa el uso de robots a nivel mundial y los incrementos anuales.

Una mirada global sobre la temática evidencia cómo los países más robotizados del mundo, muchos de ellos potencias económicas, tienen bajos valores de desempleo y un poder adquisitivo competitivo a nivel mundial de los salarios. En la figura 3, elaborada por la Cámara de Comercio de España-Corea, se pueden observar los índices de robotización en el mundo.

En Latinoamérica, existe una oportunidad y un gran desafío para la tecnificación y la incorporación de la robótica en los procesos productivos. El objetivo es que ello conduzca a un valor agregado en las producciones primarias, superando la distribución y haciendo más próspera su industria manufacturera a través del procesamiento de las materias primas, obteniendo un mayor valor agregado de sus productos primarios, en pos de generar mejores y mayores empleos. Se fortalecen, también, las economías.

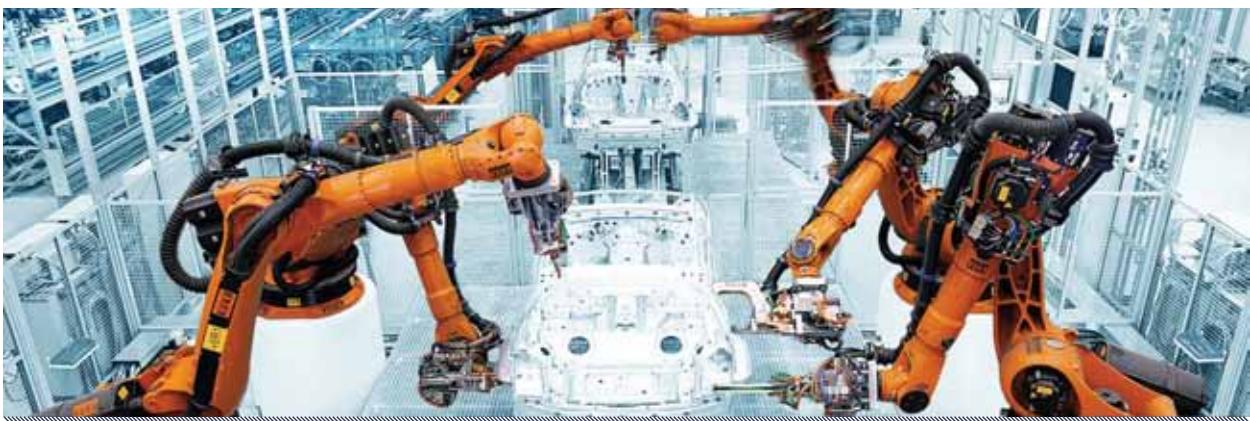
En Latinoamérica existe una oportunidad y un gran desafío para la tecnificación y la incorporación de la robótica en los procesos productivos.

Integración de la robótica en la industria 4.0

Existen soluciones y herramientas específicas que permiten aprovechar mejor los sistemas robotizados. Los nuevos niveles de seguridad en la robótica, el trabajo colaborativo, la comunicación con otros dispositivos, la visión artificial, el procesamiento de datos, y demás tecnologías de vanguardia, permiten hacer un mejor aprovechamiento de las instalaciones, logrando mejores niveles de seguridad, calidad y productividad.

Al vincular la inteligencia artificial con la robótica, se tiende a buscar un perfeccionamiento de la producción, con el objetivo de lograr mayor autonomía y toma de decisiones, según la seguridad y el entorno de trabajo.

- » Aplicación en “pick & place” (“tomar y ubicar”). Se utiliza la visión artificial, el procesamiento de imágenes 3D y la robótica colaborativa, para una producción rápida, flexible y precisa.
- » Aplicación en el agro. Otro de los ejemplos del uso de robótica, procesamiento de datos, sistemas de geolocalización y otras tecnologías se encuentra en la agroindustria. En este rubro, la aplicación de la robótica está creciendo rápidamente, brindando beneficios importantes en el rendimiento de cultivos, aprovechamiento de recursos hídricos, disminución o eliminación en el uso de químicos. ■



Algunas aplicaciones posibles de control y automatización en upstream

En este artículo, una presentación de algunos de los trabajos finales elaborados por personal ingenieril de YPF Upstream en el marco del posgrado de Especialización en Automatización Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

Carlos Godfrid
Director de la Especialización
en Automatización Industrial
cgodfri@fi.uba.ar

Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires
www.fi.uba.ar



La carrera de Especialización en Automatización Industrial es un posgrado profesional de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires (FIUBA) que se cursa en tres cuatrimestres. Durante el periodo lectivo 2019-2020 tuvo una implementación particular: por un convenio entre YPF y FIUBA, se dictó para un grupo formado exclusivamente por ingenieros e ingenieras de YPF Upstream. La experiencia resultó muy interesante y productiva, tanto para el personal técnico de YPF como para los docentes e investigadores de FIUBA.

Según el plan de la especialización, después de completar las materias de los tres cuatrimestres, el alumnado debe preparar y defender un trabajo final para obtener su título. El objetivo es integrar lo aprendido con alguna problemática del ambiente laboral en el que se desenvuelve cada estudiante. Para este último ciclo de cursos, debido a la cuarentena vigente, la exposición de los trabajos finales fue virtual, ante el tribunal y una numerosa presencia de interesados.

En las páginas que siguen, un panorama de los trabajos de los seis primeros graduados y graduadas en el marco de este convenio UBA-YPF da una idea de lo fructífera que fue esta experiencia. ■■

"Reducción del riesgo de la maniobra de desarenado mediante su automatización", de Micaela Villaola

Planteo del problema

En las instalaciones de superficie de la operación no convencional de gas (upstream), suele incluirse un equipo llamado "desarenador", que se encarga de separar los sólidos asociados a los procesos de fractura típicos de esta operación, que se extraen en conjunto con el petróleo, el gas y el agua del subsuelo. Los sólidos que se acumulan en el equipo se deben remover periódicamente con el objetivo de garantizar la operación eficiente, mediante la maniobra de desarenado. Esta maniobra consta de una serie de etapas: 1) bypass del equipo; 2) aislamiento del equipo; 3) despresurización desde la presión de operación (aproximadamente 80 kgf/cm²) a aproximadamente 10 kgf/cm²; 4) Purga, barriendo los sólidos con los 10 kgf/cm² de presión remanente en el equipo hacia la cámara de arena, y 5) normalización de la operación.

Durante un relevamiento sobre la instalación, se advirtió sobre el riesgo significativo de esta maniobra manual. A partir de la necesidad de reducir el riesgo de la maniobra de desarenado, se busca dar solución desde el campo de la automatización, de forma tal que se aleje a la persona del lugar y que la maniobra se pueda hacer desde sala de control con la supervisión del operador.

Objetivos

- » Objetivo general: realizar un diseño automatizado del sistema que permita reducir el riesgo de la maniobra de desarenado.
- » Objetivos específicos:
 - a. relevar la maniobra de desarenado actual;
 - b. cuantificar el riesgo de la maniobra de desarenado actual;
 - c. definir una arquitectura automatizada del



- d. desarrollar el diagrama lógico de la maniobra de desarenado automatizada, de acuerdo a Norma ISA 5.2.;
- e. verificar su funcionamiento a través de una simulación realizada en el entorno Matlab/Simulink, para lo que es necesario realizar un modelo matemático del proceso;
- f. seleccionar de forma multidisciplinaria los elementos necesarios para el automatismo;
- g. confirmar la reducción de riesgo en el caso de incorporar la propuesta, a través de un nuevo estudio de riesgo residual;
- h. realizar un modelo de dispersión de la mezcla explosiva para verificar el radio de alcance, de forma tal de abordar el riesgo residual.

Dado que existen otras instalaciones de no convencional, y considerando la proyección que tienen este tipo de yacimientos en nuestro país (formación Vaca Muerta), se vislumbra la posibilidad de extrapolar los resultados obtenidos a otras instalaciones.

“Optimización del automatismo en un sistema de transferencia de agua de inyección”, de Mauricio Farja

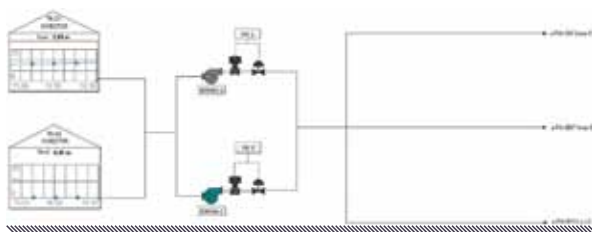
Problemática planteada

El sistema de transferencia de agua de inyección desde la planta de tratamiento de aguas a las plantas de inyección en el yacimiento Barrancas (en Mendoza) está compuesto por dos bombas centrífugas, cada una de las cuales cuenta con una válvula de control neumático que regula la presión de impulsión. Las líneas de impulsión de las dos bombas se unifican en un ducto troncal que luego se divide en tres líneas de transferencia. Se plantea la necesidad de optimizar la instalación para poder controlar el caudal transferido en cada una de las tres líneas.

El proyecto presentado optimiza el sistema de transferencia sumando funciones al sistema de control del proceso.

Solución con control y automatización

El proyecto presentado optimiza el sistema de transferencia sumando funciones al sistema de control del proceso. Requiere implementar cuadros de control en cada una de las líneas de transferencia y que se autorregulen en función de los caudales configurados por la operación. Los cuadros de control de presión se deshabilitan mientras operan los lazos de caudal, evitando la competencia de lazos, dejando el control por



presión como lazo de control de respaldo. Como parte central del trabajo, se analizaron distintas alternativas: control con recirculación, incorporando una válvula de recirculación a tanque; control con variador de velocidad, que se desestima; control PID, a partir de los elementos ya instalados. Adicionalmente, se desarrollaron las pantallas del sistema SCADA desde donde el operador comandará el sistema de transferencia de agua. Como resultado se obtuvieron controles de caudal independientes operando en forma simultánea y con la aplicación de un control override para un control de sobrepresión de los ductos. Para la sintonía de los lazos y análisis de implementación, se utilizaron rampas de arranque, ajuste de tiempo y se realizaron las modelizaciones matemáticas de cada sistema y su correspondiente simulación en Simulink.

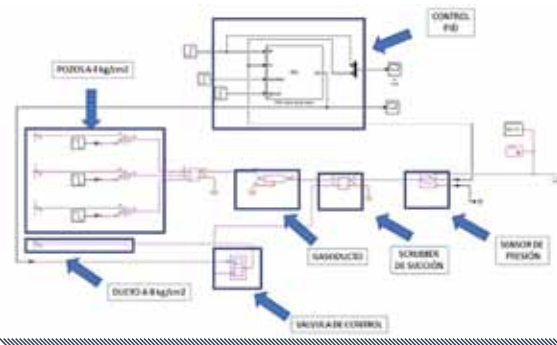
Como parte central del trabajo, se analizaron distintas alternativas: control con recirculación [...]; control con variador de velocidad [...]; control PID.

“Diseño de una estrategia de control para evitar desvíos de presión durante la laminación de gas”, por Pablo Morales

A medida que un yacimiento se desarrolla, se instalan en pozos sistemas de extracción artificial tales como bombeo mecánico, bombeo electrosurgible, plunger lift o compresores de boca de pozo, entre otros. Una vez en superficie, el fluido se transporta a las unidades primarias de tratamiento: el petróleo a las baterías y el gas, a las unidades de separación primaria (USP). Allí se realizan separaciones líquido/gas y líquido/líquido, se miden las fases, se contabiliza la producción total y se envía el producto a las respectivas plantas de tratamiento. Si el gas tiene menos presión de la requerida, primero se envía a una estación compresora, que cuenta con máquinas de desplazamiento positivo o compresores alternativos recíprocos en los que, por medio de un pistón, se eleva la presión de sucesivos volúmenes de gas hasta un valor determinado.

Planteo del problema

Una estación compresora de YPF cuenta con dos máquinas que reciben gas a baja presión (4 kg/cm^2). Allí comprimen el gas hasta 68 kg/cm^2 . Si las variables de operación del compresor se encuentran por fuera de la ventana operativa, este detiene su marcha para evitar recalentamientos o roturas internas. La instalación cuenta con una acometida que une un sistema de media presión (8 kg/cm^2) con uno de baja presión para suplir una falta de caudal. La estrategia de control actual consta de dos válvulas neumáticas instaladas en cada línea que comparten un mismo controlador. La medición de presión y su transmisión se hace por medio del PIT 100 que se encuentra sobre la succión. Este proceso en el cual se compensa la caída de presión de un sistema con otro es lo que se conoce como “laminación de gas”, situación no deseable y totalmente ineficiente. Con la configuración actual, a medida que la presión de succión disminuye por el cierre de alguna línea de producción, la laminación resulta abrupta y no permite sincronizar las velocidades de reacción de las válvulas correctamente.



Desarrollo del trabajo

Un control feedback es la estrategia apropiada para resolver la problemática. La PV 100A debe quedar abierta y en un futuro ser retirada de la instalación. La válvula PV 100B debe reemplazarse por una de menor tamaño. Se utiliza la herramienta Simscape para representar el sistema, ya que permite crear sistemas físicos dentro del entorno de Simulink. Se simula un conjunto de pozos a 4 kg/cm^2 de presión junto a una válvula globo que realiza el cierre programado, restringiendo el caudal de gas. La disminución de caudal genera pérdida de presión en el sistema. Cuando la presión cae por debajo del punto de configuración, el PID envía una señal de apertura a la válvula de control que se encuentra en una cañería con gas a 8 kg/cm^2 , laminando el gas que se dirige a los compresores. La apertura de la válvula de control 4" es cercana al 24%. Se propone utilizar una válvula de 2", lo que genera por simulación un valor de 51% de apertura.

Conclusiones

Al no contar con la función de transferencia del sistema, la simulación en Simscape representa el sistema y su comportamiento antes y luego del control. No resulta necesario modular la válvula PV 100A para poder controlar las perturbaciones de presión en el scrubber de succión del compresor, por lo que el controlador PIC 100 solo debe intervenir con la PV 100B y se debe dejar abierta al 100% la PV 100A. Se recomienda el cambio de válvula de control por una de 2". El control feedback resulta ser la estrategia correcta para evitar la detención de los compresores por baja presión de succión.

“Modelado para el ajuste de control de bombas con variador”, por Pablo Prieto

Problemática planteada

La propuesta está basada en el parque de bombas de la planta de inyección de agua “Mari Menuco” (PIA MM), ubicada en el yacimiento Sierra Barrosa, en la provincia de Neuquén. Esta cuenta con cuatro bombas encargadas de abastecer de agua para recuperación secundaria a la planta de tratamiento de crudo Aguada Toledo (PTC AT). Actualmente, la demanda ha disminuido al punto de que el abastecimiento se puede realizar con solo una bomba e, incluso, la mayoría del tiempo, su capacidad excede la demanda.

Se plantea realizar el ajuste de los lazos de control del sistema de bombeo de despacho de agua para lograr una operación estable con respuesta efectiva ante los cambios de demanda de caudal.

Solución con control y automatización

El sistema posee un variador de velocidad que originalmente se utilizaba como un arranque suave para luego dejar las bombas conectadas de forma directa a la frecuencia de la red en las épocas de mayor consumo, y evitar así perturbaciones significativas en la red eléctrica del yacimiento. El variador está diseñado para operar con una carga cuya potencia es equivalente a la de una de las bombas del parque de PIA MM (600 HP).

Se plantea realizar el ajuste de los lazos de control del sistema de bombeo de despacho de agua para lograr una operación estable con respuesta efectiva ante los cambios de demanda de cau-

dal, operando además con el menor consumo de energía posible, mediante el control de velocidad combinado con la acción de las válvulas de recirculación y salida de planta que se hacía originalmente.

El mejor resultado se obtuvo mediante la implementación de un controlador IMC.

El trabajo presentado plantea elaborar el modelo matemático que representa el sistema de bombeo de forma integral, incluyendo las ecuaciones características de las válvulas de recirculación y salida de planta, y la de la curva de la bomba en función del caudal y presión, con la particularidad de que los coeficientes de los términos cuadrático, lineal e independiente se expresan en función de la velocidad del eje. Al modelo se le agregan las ecuaciones correspondientes a un controlador PID, utilizando solo las constantes proporcional e integral.

La propuesta está basada en el parque de bombas de la planta de inyección de agua “Mari Menuco” (PIA MM), ubicada en el yacimiento Sierra Barrosa, en la provincia de Neuquén.

Una vez que se completó el modelo para la simulación en lazo cerrado mediante el software Simulink, se utilizaron dos metodologías de ajuste, Ziegler-Nichols e IMC, para hallar las constantes del controlador. El mejor resultado se obtuvo mediante la implementación de un controlador IMC. Las perturbaciones de gran intensidad fueron absorbidas de forma adecuada aun cuando la condición de consumo de agua en el acueducto era de baja.

"Automatización y control de un separador bifásico vertical", por Gustavo Robledo

Problemática planteada

Las mediciones en campo son de vital importancia para la determinación confiable de la producción. Tener una forma sistematizada de medir esta producción ayuda a la toma de decisiones en los proyectos de inversión de la compañía.

En el campo petrolero, el recuento de la producción es una de las tareas fundamentales y que más tiempo puede llevar a los operarios. Esta tarea es la que cierra el número final en inversiones en los distintos negocios, por lo que tener una metodología que disminuya la incertidumbre que conlleva cualquier medición sería de utilidad en la decisión final.

Solución con control y automatización

El objetivo principal del proyecto planteado es especificar instrumentos y equipos necesarios, junto con las estrategias de control, para que los separadores de control instalados en campo puedan realizar la medición y control del pozo de forma automática, utilizando los equipos disponibles y considerando la capacidad de mantener las funciones con los recursos de la zona.

Como base del diseño se tomó un separador bifásico vertical de control de 200 m³/día junto con sus pozos.

El proyecto tiene dos aristas marcadas: por un lado, se trabajó en la instrumentación y por el otro, en el control del lazo de nivel necesario para el correcto funcionamiento del separador.

Para la instrumentación, se especificaron cada uno de los equipos del esquema de la figura 1.

Ya sea para instrumentos ya presentes como para equipos nuevos, se tuvo en cuenta el historial de fallas, la adquisición y el conocimiento de los operarios en campo, tanto de producción,

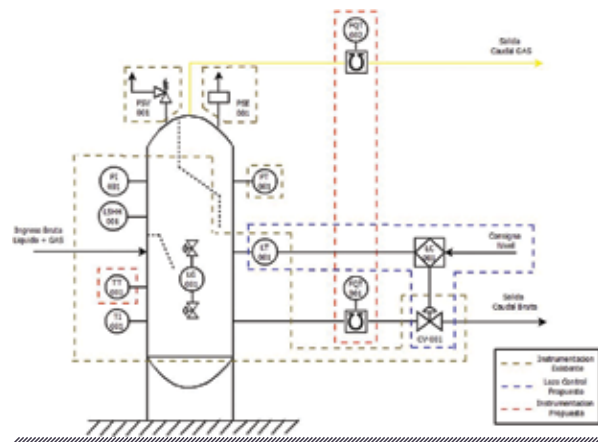


Figura 1

para su utilización, como los operarios de mantenimiento, para la ejecución de las rutinas preventivas.

Para el control automático del nivel del separador, con el software Simulink, se construyó el modelo del separador mediante bloques. Finalmente, se puede obtener un modelo completo del sistema, con sus perturbaciones (caudal de ingreso, presión del separador y presión de descarga del separador).

Se escoge para el ajuste del lazo, una estrategia por IMC con rechazo de perturbaciones. Con este ajuste se obtienen los resultados de la figura 2, tanto para el control de nivel como el rechazo de perturbaciones.

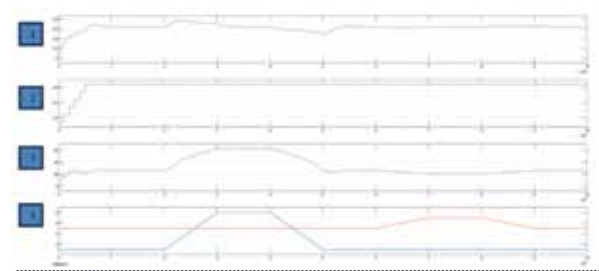


Figura 2

“Software de identificación de modelos y diseño de controladores”, por Héctor Sifon

Durante el desempeño diario del ingeniero de control, suele ser necesario realizar ajustes de lazos PID, usualmente en situaciones donde no se dispone de modelo dinámico de la planta, y muchas veces, tampoco del tiempo para su obtención. Producto de esto, la mayor parte del trabajo de ajustes de lazos de control se realiza prescindiendo de las herramientas analíticas ampliamente conocidas y muy efectivas. A los efectos de salvar esta problemática, se planteó como objetivo del trabajo el desarrollo de un software de asistencia para la identificación de modelos y ajuste de lazos de control. La herramienta obtenida como resultado de este trabajo permite identificar los parámetros del modelo, cuyo orden es definido por el usuario, a partir de la importación de datos de una prueba del tipo “Bump test” realizada sobre el lazo de control.

Para la identificación de parámetros se utilizó el método de estimación por mínimos cuadrados, a lo que se adicionó una etapa de ajuste final por método de descenso de gradiente. Esta última etapa permite corregir los casos donde, por presencia de ruido de medición, se obtengan parámetros con sesgo de estimación, lo cual es inherente al método de mínimos cuadrados.

Cabe mencionar que, al considerar como punto de partida para el algoritmo de descenso de gradiente, la estimación obtenida por mínimos cuadrados, se elude la problemática de mínimos lo-

cales que puede suceder si se utiliza el método de descenso de gradiente por sí solo. Con esta combinación en etapas de algoritmos, se ha obtenido un buen desempeño en la estimación de parámetros de modelos aún en condiciones de señales ruidosas.

El programa realizado permite configurar un modelo continuo manualmente, o identificarlo a partir de datos de proceso, los cuales se cargan a través de un archivo.

Adicional a la funcionalidad de identificación de modelo, el software desarrollado posee un entorno de simulación, el cual permite verificar el comportamiento a lazo cerrado para distintas configuraciones del controlador, siendo posible verificar el desempeño ante perturbaciones y cambios de “set point”. Por otra parte, la herramienta puede también obtener la configuración del controlador por método de IMC y calcular la distancia entre el gráfico de Nyquist al punto crítico, lo que da una idea de la robustez del ajuste realizado sobre el PID; logrando así un conjunto de funcionalidades que resulta muy útil como herramienta de apoyo en la tarea diaria del ingeniero de control.

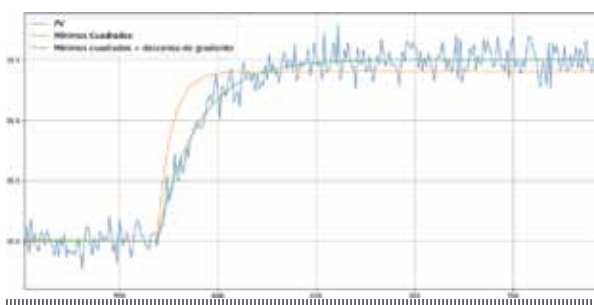


Figura 1

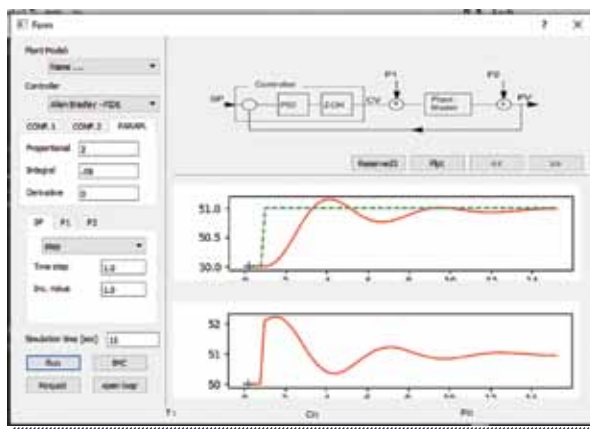


Figura 2

AOG Patagonia llega en 2022

AOG Patagonia estaba programada originalmente para septiembre del año 2020, pero debido a la realidad que impone el COVID-19, el Instituto Argentino de Petróleo y Gas debió trasladar la fecha del evento para septiembre de 2022



Instituto Argentino de Petróleo y Gas
IAPG
www.iapg.org.ar
www.aogexpo.com.ar

Conforme a los hechos de público conocimiento relacionados con la propagación del virus COVID-19 (Sars-Cov-2) y siguiendo las políticas, recomendaciones y disposiciones en materia de prevención de la salud implementadas por las autoridades de la Nación y de la provincia de Neuquén, el Instituto Argentino del Petróleo y del Gas ha decidido reprogramar la AOG Patagonia para el mes de septiembre de 2022, buscando así seguir respaldando al sector mientras atraviesa tiempos extraordinarios, y con el fin de que las empresas expositoras y los visitantes profesionales puedan dar el presente, siempre priorizando su salud y seguridad.

A lo largo de estos meses, el IAPG ha desarrollado más de 50 exitosos encuentros a través de plataformas virtuales, de todo el arco de temas que ocupan a la industria, lo cual le permite afianzar su presencia ante los profesionales del sector.

Sin embargo, la Expo AOG Patagonia es tradicionalmente un evento para toda la ciudad y la región, ya que no solo la visitan los trabajadores de la industria sino también sus familias; es una oportunidad en la que se generan encuentros y se fomentan las conversaciones y la camaradería mientras se recorren los pabellones y se admiran los avances tecnológicos.

Trasladar la fecha es la decisión más factible en la actualidad para finalmente realizar el evento en la modalidad presencial.

Esta Expo, tan conocida y esperada por el sector, es fundamental para promover y reactivar los negocios, así como para dar solidez a la industria con conocimientos de vanguardia, novedades tecnológicas y valiosos contactos profesionales. ■■

Sello de Buen Diseño para la unidad integral de seguridad

La unidad integral de seguridad obtuvo el reconocimiento del Sello de Buen Diseño

MICRO automatión
www.microautomacion.com



El Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación Argentina reconoció con el Sello de Buen Diseño a la unidad integral de seguridad para el operador y la máquina, desarrollada por la empresa *MICRO automatión*. El galardón avala la manera en que la empresa desarrolló una estrategia de diseño y aplicación para conseguir una mejora en el proceso de producción.

El producto en cuestión es una propuesta de seguridad de concepción totalmente modular, de libre configuración y de fácil instalación. Las características que presenta permiten la protección del operador, evitando accidentes, pero también la rotura de máquinas.

El galardón avala la manera en que la empresa desarrolló la estrategia de diseño y su aplicación.

Puede incluir válvula de corte y descarga con candado, válvulas de corte eléctrico, presostato, válvula de presurización progresiva y bridas intermedias. Existen seis combinaciones preesta-

blecidas, en las cuales el orden de montaje de módulos cumple con una lógica de funcionalidad específica de cada uno de ellos para brindar mayor seguridad en procesos productivos. Estas unidades contemplan la integración de un filtro-regulador (FR) o de un filtro-regulador y lubricador (FR + L) con algunos módulos especiales que generan el criterio de seguridad.

El producto en cuestión es una propuesta de seguridad de concepción totalmente modular, de libre configuración y de fácil instalación



Para conocer las alternativas de armado diferentes:
<https://youtu.be/hcMcLHwe6ll>

Los módulos se presentan con funciones específicas y de seguridad de gama ampliada, de forma tal que atienden todas las series de equipos. Además, están adecuados para cumplir con normativas como las directivas de la Comunidad Europea de maquinaria 2006/42/CE, de equipos a presión 97/23/CE, de baja tensión 2006/95/CE y de compatibilidad electromagnética 2004/108/CE. ■

Componentes de Profinet: dispositivo, controlador, supervisor

Autex

www.autex-open.com

Nota del autor.

Descargo de responsabilidad: el autor trabaja con el equipo de desarrollo de *Profinet Commander* y tiene interés en promocionar el producto. Puede haber productos similares disponibles en el mercado, pero el autor no está familiarizado con ellos.

Nota del editor.

El artículo aquí presentado es propiedad de *Profinet University*, traducido por *Profi Argentina*

Una red Profinet puede ser una compleja colección de estaciones, desde dispositivos de entradas/salidas digitales, hasta actuadores neumáticos, pasando por escáneres láser. La lista parece interminable y crece cada día. Pero dentro de esa compleja red, todos los componentes de Profinet operan dentro de tres roles diferentes. Pueden ser dispositivos, controladores o supervisores. Estos roles no se basan en lo que un componente está haciendo en el mundo real; en realidad, se basan en cómo interactúa cada componente con todos los demás en la red. Estos roles son fundamentales para el funcionamiento básico de Profinet.

Todos los componentes de Profinet operan dentro de tres roles diferentes. Pueden ser dispositivos, controladores o supervisores.

Roles de los nodos Profinet:

- » **Dispositivos:** son unidades autónomas diseñadas para comunicar información en tiempo real a un controlador. No intentan comunicarse directamente con otros dispositivos. En su lugar, reportan los datos en tiempo real (intercambio cíclico) directamente a un controlador y pueden enviar alguna alarma o diagnóstico (intercambio acíclico) a un supervisor.
- » **Controladores:** son lectores de contenido de los datos en tiempo real (intercambio cíclico) enviados por uno o más dispositivos. Mantienen actualizado un registro no solo con los datos en tiempo real de un dispositivo, sino que recopilan también información sobre el estado de mantenimiento de cada dispositivo, recopilan mensajes de alarma y hacen que toda esa información se encuentre disponible para el usuario final. Los controla-

dores son típicamente PLC, aplicaciones de software de PC o HMI de gama alta.

- » Supervisores: son similares a los controladores, pero no tienen acceso a los datos en tiempo real desde cualquier dispositivo. Los supervisores no forman parte del funcionamiento diario de una red Profinet. En su lugar, los usuarios finales pueden utilizar un supervisor para realizar tareas tales como leer la información de diagnóstico de un dispositivo, asignar las direcciones IP o los nombres de las estaciones DCP, o diagnosticar los problemas en una conexión de red problemática.

La mayoría de los PLC que implementan Profinet son controladores, y la mayoría de los componentes que se interponen con el mundo real son dispositivos.

Ejemplos del mundo real

Es bastante sencillo: la mayoría de los PLC que implementan Profinet son controladores, y la mayoría de los componentes que se interponen con el mundo real son dispositivos. Los supervisores se incluyen típicamente con la herramienta de configuración del fabricante del PLC (TIA Portal, Proficy ME, PC Worx, etc.), aunque algunos productos combinan los papeles del controlador y del supervisor. Profinet Commander, por ejemplo, incorpora las capacidades del supervisor y del controlador en un solo paquete de software.

Una advertencia: mientras que las capacidades de los dispositivos y controladores Profinet están definidas por el estándar homónimo, no hay ninguna especificación para un supervisor. Por lo tanto, si está contando con un conjunto de capa-

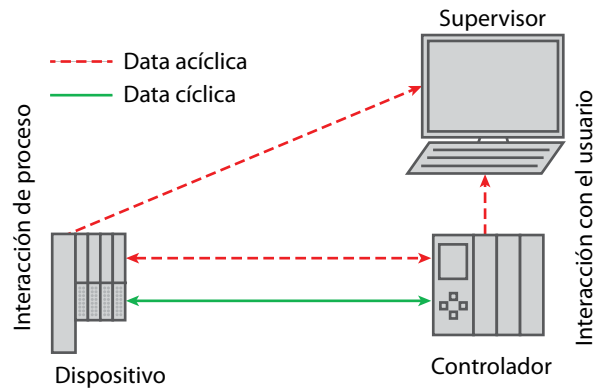


Figura 1. Los componentes de Profinet se definen por sus interacciones entre sí. Un controlador puede admitir conexiones cíclicas y acíclicas con muchos dispositivos, mientras que un supervisor solo admite conexiones acíclicas con otros nodos Profinet.

idades de un supervisor en particular, verifique que estas capacidades estén incluidas en la hoja de especificaciones correspondiente antes de comprarlo.

Los supervisores solo interactúan con los controladores o dispositivos cuando lo ordena una aplicación de usuario.

Palabras finales

Los dispositivos Profinet suelen montarse en el campo donde interactúan con un proceso físico. Los controladores y supervisores se ubican más cerca del operador y concentran la información de los dispositivos. Los supervisores solo interactúan con los controladores o dispositivos cuando lo ordena una aplicación de usuario. Por otro lado, los controladores interactúan con los dispositivos de forma regular como parte de su funcionamiento normal. ■

Wi-Fi 6 en la industria

Con el respaldo de muchos años de experiencia en la implementación de soluciones de automatización inalámbricas, este informe evalúa las mejoras técnicas del estándar WLAN (también conocido como Wi-Fi) con respecto a los campos de aplicación en entornos industriales y automatización. Este informe incluye los siguientes temas: la historia del estándar WLAN con la huella actual de unos 35.000 millones de dispositivos vendidos desde 2010; los desafíos que cada persona o profesional interesado ya conoce en términos de WLAN; los detalles o logros técnicos del estándar nuevo; los posibles usos e implicancias para aplicaciones industriales, y las cuestiones pendientes de la tecnología inalámbrica.

Kilian Löser
Siemens

www.siemens.com.ar

Las redes inalámbricas avanzan rápidamente, impulsadas por los requisitos de diferentes tipos de usuarios. El estándar actual IEEE 802.11ax es el primer estándar inalámbrico LAN (WLAN) cuyo objetivo principal es aumentar el tratamiento equitativo y, por ende, el rendimiento por usuario, es decir, por dispositivo.

A la vez, se están promoviendo mejoras que generarán una operación eficiente, incluso en las aplicaciones a batería como los vehículos guiados automáticamente (AGV) o dispositivos finales móviles. La clave aquí es la Internet de las cosas (IoT).

A nivel técnico, las mejoras se llevan a cabo mediante:

- » Acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA). Es la división del espectro en subcanales más pequeños para reducir costos.
- » Tiempo de activación de destino (TWT). Mejora y ampliación de la funcionalidad de baja potencia para lograr tiempos de ejecución más largos, incluso con alimentación a batería.
- » Reutilización espacial. Uso más eficiente del espectro de frecuencia.

Para los requisitos en tiempo real de los entornos industriales, el estándar no posee especificaciones para el uso de OFDMA ni mejoras en el comportamiento del roaming de los clientes (cambio de un punto de acceso al siguiente).

Además, particularmente al inicio de la implementación del IEEE 802.11ax, los clientes no se beneficiarán de un mejor rendimiento. La tendencia es hacia protocolos de automatización con estrictos requisitos de tiempo real que operen en paralelo con aplicaciones de grandes volúmenes de datos como la realidad virtual o aumentada. Para operar todas las aplicaciones mediante conexión inalámbrica, se necesita ajustar los mecanismos ya incluidos en el estándar.

Aquí, no solo será necesario utilizar las posibili-

dades de un estándar nuevo, sino además dar un paso más y crear valor agregado adicional en la automatización con respecto al tiempo real y confiabilidad.

Con Wi-Fi 6, por primera vez llega al mercado un estándar WLAN cuyo enfoque principal no está exclusivamente en una mayor velocidad de datos.

Desarrollo del mercado

El primer estándar WLAN se lanzó en 1997 con una velocidad de datos máxima de 2 Mbit/s.

Entre otros, Wi-Fi Alliance, con sus esfuerzos de compatibilidad, ha contribuido en gran medida al uso del Wi-Fi del modo más conveniente posible, con un fuerte enfoque en el área de aplicación más grande: el mercado de consumo.

Durante años, Wi-Fi ha prosperado en diferentes industrias, asistiendo equipos móviles, comunicación entre máquinas, procesos de logística e intralogística, procesos de rotación individual o móviles, y los diferentes pasos de la fabricación. Algunos datos:

- » Las transacciones comerciales con Wi-Fi están actualmente valuadas en USD 2 billones en todo el mundo.
- » En los países industrializados, casi todos los hogares tienen un punto de acceso.
- » Wi-Fi se ha vuelto indispensable para aplicaciones móviles.

¿Por qué LAN inalámbrica industrial?

El estándar WLAN se desarrolló con los años principalmente teniendo en cuenta estos escenarios:

Desafío	Solución
Uso en el área de congelador o acería	Rango de temperatura ampliado de los dispositivos
Instalación en superficies con vibraciones	Pruebas de esfuerzo especiales para hardware, tecnología de conexión especial para los cables (Ethernet FastConnect o M12)
RF y picos de tensión	Mayores valores de aislamiento en la entrada de tensión y el módulo RF
Impacto del agua y el polvo en el entorno	Componentes más robustos gracias a una mayor protección, como la clase IP 65

Tabla 1. Requisitos de hardware

a) trabajo estático en una laptop, y b) enlaces estáticos entre edificios, por ejemplo.

Un tiempo después, cobraron importancia las aplicaciones móviles, que también requieren un periodo de transición breve entre los diferentes puntos de acceso. Un ejemplo son los datos de voz y video. Estos escenarios presentan diferentes entornos y requisitos de hardware y comunicación para las aplicaciones industriales.

Para implementar aplicaciones como sistemas de shuttle para intralogística, monorraíles elevados para cargas pesadas, automatización de grúas o AGV, la comunicación WLAN presenta los siguientes requisitos, según la aplicación:

- » Tiempos de respuesta rápidos garantizados.
- » Comunicación de gran disponibilidad.
- » Roaming muy rápido para aplicaciones móviles.

Se suman a estos factores la puesta en marcha y el mantenimiento simples. Estos requisitos no recaen per se, con lo cual una ampliación del estándar que se ajuste a los requisitos de las aplicaciones ofrece un valor agregado sustancial.

Las condiciones ambientales, comparadas con las de una oficina (con aire acondicionado) difie-

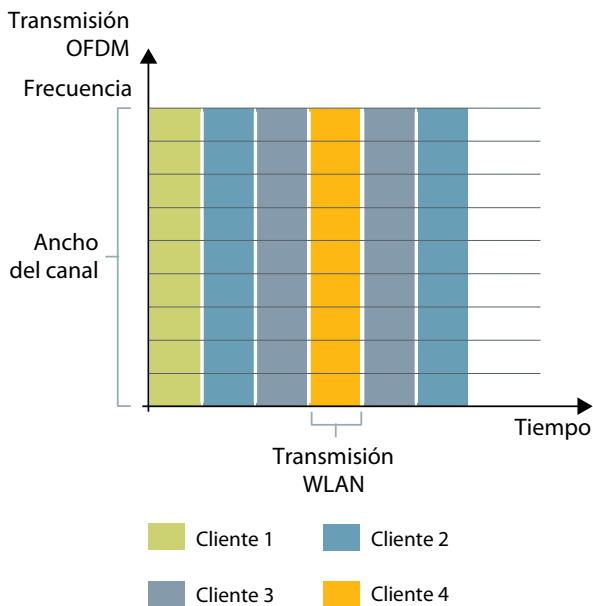


Figura 1. Comunicación OFDM

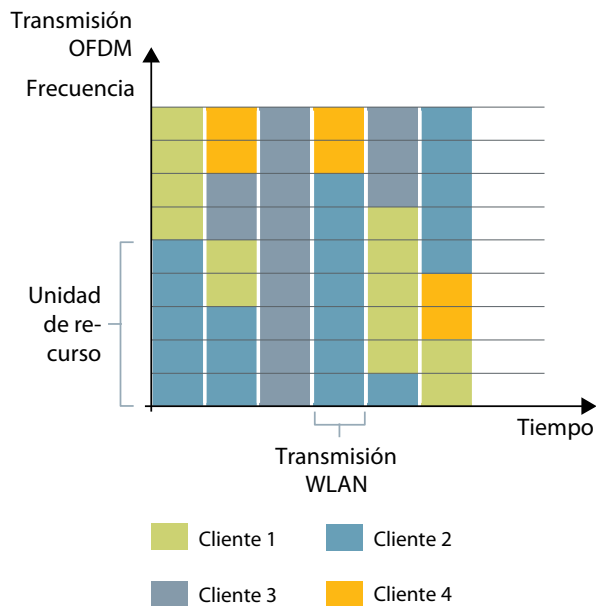


Figura 2. Comunicación OFDMA

ren del entorno industrial. La tabla 1 describe los posibles desafíos y cómo los dispositivos se diseñan en consecuencia.

La gran ventaja que ofrece el IEEE 802.11ax es OFDMA, un tipo de transmisión de datos totalmente nuevo para WLAN.

IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) en la automatización y la digitalización

Este capítulo describe el objetivo del estándar y las innovaciones técnicas más importantes, además de su valor agregado y limitaciones con respecto a las aplicaciones industriales. Con Wi-Fi 6, por primera vez llega al mercado un estándar WLAN cuyo enfoque principal no está exclusivamente en una mayor velocidad de datos. El motivo principal de los autores del estándar era au-

mentar la cantidad de clientes WLAN y, por ende, la eficiencia en entornos con muchos usuarios.

Estos son los objetivos:

- » Mayor velocidad de datos promedio en entornos con grandes cantidades de usuarios
- » Uso más eficiente del espectro de frecuencia
- » Mayor tiempo de ejecución de los dispositivos con batería

Los objetivos esenciales para soluciones de automatización no fueron la prioridad:

- » Latencia máxima permisible con respecto a un cliente.
- » Mejor velocidad del proceso de roaming para aplicaciones móviles.
- » Duración máxima del proceso de roaming.

Estos objetivos seguirán requiriendo soluciones especializadas en el futuro. Este capítulo describe las funciones más importantes del estándar nuevo y las relaciona con las posibles ventajas en aplicaciones específicas.

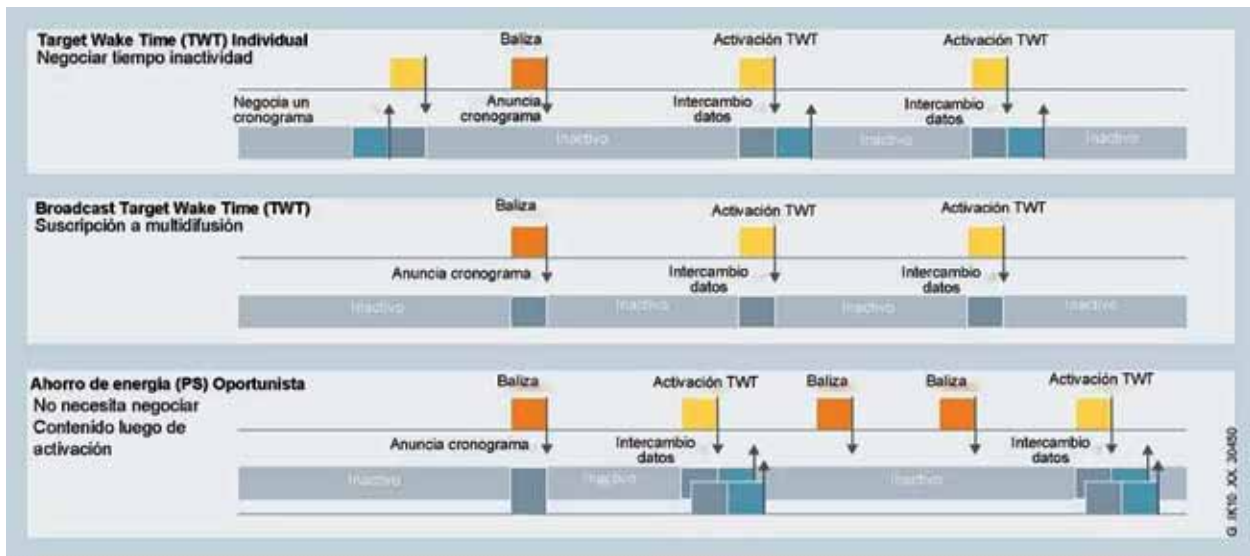


Figura 3. Tiempo de activación de destino (TWT)

Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA)

La gran ventaja que ofrece el IEEE 802.11ax es OFDMA, un tipo de transmisión de datos totalmente nuevo para WLAN. Actualmente, WLAN utiliza la multiplexión por división de ortogonal de frecuencia (OFDM) para la transmisión de datos. Con OFDM, un solo participante puede comunicarse en un determinado momento. El canal de comunicación se utiliza por completo durante la transmisión de datos (ver la figura 1). Con IEEE 802.11ax, se introduce OFDMA para la transmisión de datos. El canal de comunicación se divide en hasta nueve subcanales llamados unidades de recursos (RU). Estos subcanales se pueden distribuir a diferentes usuarios para que se comuniquen simultáneamente (ver la figura 2).

OFDMA se utiliza en tecnologías de comunicación móvil como 4G y 5G, y, gracias a su mayor eficiencia, también se está abriendo camino hacia el WLAN.

Si existe la posibilidad de no tener que integrar clientes más antiguos en una aplicación o de poder tratarlos de modo independiente, se pue-

den obtener los siguientes beneficios del acceso OFDMA:

- » Atender a múltiples usuarios en menos tiempo
- » Transmisión más eficiente de paquetes de datos pequeños
- » Mejor implementación de mecanismos para QoS (calidad de servicio)

OFDMA en sí no es suficiente para ejecutar tareas de automatización críticas.

Al desarrollar un mecanismo de interrogación sobre la base de OFDMA, las aplicaciones industriales podrán obtener latencias bajas permanentemente en un punto de acceso en entornos de Wi-Fi 6 puros. Lo que se debe considerar es el comportamiento del roaming, es decir, cuando el cliente cambia de un punto de acceso a otro. En este aspecto, no hay mejoras en el estándar, y el tiempo máximo para el proceso de roaming depende del cliente. El tiempo máximo para una transición entre puntos de acceso no se puede calcular.

Para crear un comportamiento determinista adecuado para aplicaciones de automatización

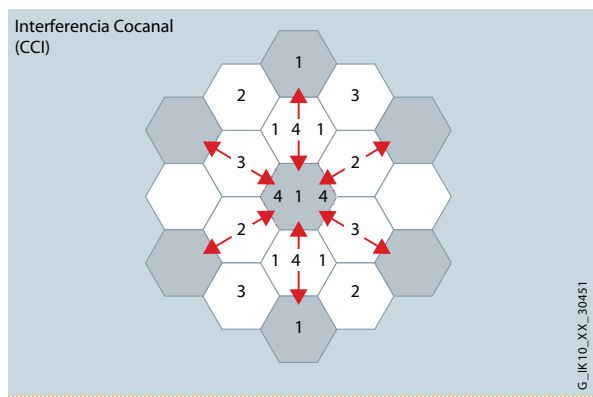


Figura 4. Bloqueo cocanal (CCI)

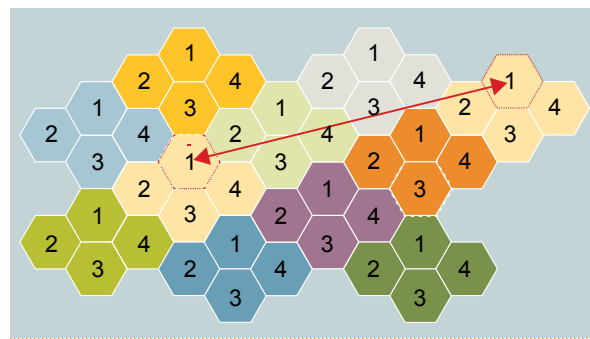


Figura 5. BSS Coloring

se requieren soluciones especiales por fuera del estándar. Como parte esencial del estándar, OFDMA permite establecer mayor equidad entre los usuarios en un punto de acceso. No obstante, esto solo no mejora la latencia máxima.

IEEE 802.11ax amplía los mecanismos para ahorro de energía y los hace más eficientes. TWT permite la transmisión de datos basada en la activación.

Tiempo de activación de destino (TWT)

La mayor necesidad de asistencia a los dispositivos IoT y la competencia de otras tecnologías motivaron la revisión de la funcionalidad de baja potencia. IEEE 802.11ax amplía los mecanismos para ahorro de energía y los hace más eficientes. TWT permite la transmisión de datos basada en la activación (trigger).

Los clientes Wi-Fi ahora pueden “dormir” entre el envío y la recepción de paquetes, y solo activarse a la hora acordada, si fuere necesario, luego de muchas horas, para retomar la transmisión de datos. Hay diferentes opciones para utilizar el mecanismo para ahorrar energía y obtener la mayor flexibilidad (ver la figura 3).

- » TWT individual. La hora para la siguiente transmisión se acuerda exclusivamente entre el punto de acceso y el cliente.
- » Broadcast TWT. La hora de la próxima transmisión (multidifusión) se especifica mediante el punto de acceso (también para grupos de clientes de Wi-Fi).
- » Ahorro de energía (PS) oportunista. El cliente reacciona a los paquetes de datos del punto de acceso; no se negocia ningún intervalo.

TWT brinda diferentes ventajas para las aplicaciones industriales, incluyendo mayor tiempo de ejecución de las aplicaciones a batería, por ejemplo, shuttles y AGV, en la medida que el cliente Wi-Fi pueda controlar la alimentación del dispositivo correspondiente. Asimismo, elimina interferencias desde el acceso planificado de los clientes individuales al canal de comunicación.

Reutilización espacial

El Wi-Fi como medio con diferentes canales en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz siempre exige una buena planificación de la instalación. El objetivo de esta planificación de frecuencia es, entre otros, evitar o, al menos, minimizar los efectos por superposición de canales de la misma frecuencia. Los efectos que se generan se llaman “interferencia Cocanal” (CCI) o “superposición del

conjunto de servicios básicos" (OBSS). (Ver la Figura 4).

Con la llamada "reutilización espacial" mediante BSS Coloring (conjunto de servicios básicos), el estándar permite la reutilización de los canales, incluso cuando estén cerca a nivel local, lo que generaría normalmente gran interferencia. Para ello, se asigna un color (de hecho, un número) al BSS de un punto de acceso. Al asignar este color, los usuarios se pueden comunicar, incluso cuando el canal esté ocupado por usuarios con otro color, siempre que no estén realizando grandes transferencias. Esto podría ejemplificarse como una discoteca en la cual, sin dudas, hay mucho ruido fuerte en el ambiente, sin embargo, el oído humano filtra el color de la conversación con su contraparte (ver la figura 5).

Con la llamada "reutilización espacial" mediante BSS Coloring, el estándar permite la reutilización de los canales, incluso cuando estén cerca a nivel local.

La reutilización espacial como tecnología se define como novedad en el estándar. En teoría, permite un uso considerablemente más eficiente del espectro, y los nuevos paradigmas al planificar las instalaciones. Se pueden obtener las siguientes ventajas en aplicaciones industriales:

- » Coordinación más sencilla entre diferentes proveedores de equipos en una fábrica.
- » En entornos con IoT industrial, una mejor distribución de los clientes en diferentes puntos de acceso sin interferencias.

Sin embargo, primero será necesario aguardar y ver cuándo y cómo se implementa esta función en chipsets, y qué promesas mantiene el estándar. Las implicancias de la reutilización espacial en instalaciones de producción se podrán estimar a partir de esto.

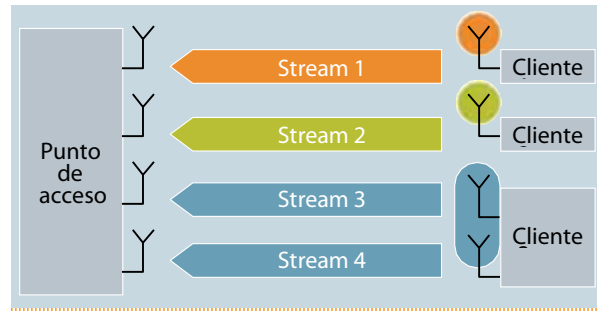


Figura 6. Enlace ascendente MU-MIMO

Las mejoras enumeradas en este capítulo permiten obtener más de la tecnología WLAN en aplicaciones especiales. Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones industriales se puede categorizar como menos provechosas que las tecnologías descritas en los capítulos anteriores.

Enlace ascendente MU-MIMO

MU-MIMO (multiusuario con entradas y salidas múltiples), que se lanzó con el IEEE 802.11ac (Wi-Fi 5), pero cuya implementación y uso fueron escasos, ahora también se especifica para el enlace ascendente (*uplink*). Este permite hablar con cualquier cliente en el mismo canal por antena. Suena lindo en teoría, pero debe superar los siguientes desafíos:

- » Para poder distinguir los trenes (*streams*), los clientes deben aprender el trayecto de transmisión antes de la transmisión de datos y, nuevamente, si la posición o el entorno de uno de los cliente cambia, incluso levemente. Esto genera gastos y cierta latencia (ver la figura 6).
- » Para aprender el trayecto de transmisión se requiere mayor poder de cálculo para las operaciones matemáticas requeridas.

Por ende, esta tecnología es muy útil en disposiciones estáticas con transmisión de grandes volúmenes de datos. Esa combinación de disposición estática y grandes volúmenes de datos para transmitir rara vez se encuentra en un entorno industrial.

Mayor inmunidad a la interferencia y rango

Para su uso en el exterior y para mayor rango, se presentan un prefijo más largo y la llamada modulación de doble portadora (*Dual Carrier Modulation*) en la cual se puede enviar la misma señal en dos rangos de frecuencia diferentes dentro de los canales utilizados. Estos mecanismos reducen las velocidades de datos máximas, pero aumentan la robustez en condiciones ambientales hostiles.

Mayor modulación: 1024-QAM

Hasta el momento, se transmitían 256 bits por símbolo (256-QAM). En buenas condiciones, el IEEE 802.11ax aumentará este valor hasta 1024 bits mediante mayor modulación (1024-QAM). Esta función aumenta la velocidad de datos máxima alcanzable, que puede ser muy útil en muchas aplicaciones. Sin embargo, solo la mayor velocidad de datos no es un factor decisivo ya que también se trata de una distribución equitativa de esta velocidad para no generar un tiempo de parada.

Cuestiones pendientes

Las siguientes cuestiones aún están pendientes cuando se trata del uso de aplicaciones de automatización:

- » Clientes legado. En entornos con clientes de estándares anteriores, las ventajas de la nueva tecnología son limitadas o nulas.

- » OFDMA para tiempo real. El tiempo real y la determinística no fueron el foco del diseño del OFDMA. Los requisitos determinísticos o temporales, necesarios en muchas aplicaciones industriales, necesitan un tiempo de respuesta máximo garantizado entre clientes y puntos de acceso. Esto requiere adaptaciones del software de los puntos de acceso y clientes.
- » El estándar IEEE 802.11ax no incluye mejoras en el comportamiento del roaming de los clientes. El comportamiento del roaming aún depende de cómo barre el cliente los canales individuales, qué ajustes para el comportamiento de barrido y roaming son posibles para el cliente, cuántos canales se utilizan en una aplicación, si se utilizan servidores RADIUS centrales u otros mecanismos de conexión, si los puntos de acceso y los clientes soportan estándares como IEEE 802.11r/k/v y, de ser así, cómo.
- » El tiempo de roaming de un cliente puede estar entre unos pocos milisegundos y varios segundos. Para evitar este comportamiento inaceptable en aplicaciones críticas, se requiere una solución especial que permita el cálculo del tiempo máximo para un proceso de roaming y que este sea muy breve.

Conclusión

Con el estándar IEEE 802.11ax, IEEE ha logrado grandes avances para el futuro de WLAN. Es el primer estándar WLAN que se enfoca en el manejo equitativo de muchos usuarios y no exclusivamente en el aumento de la velocidad de datos. Las mejoras y optimizaciones técnicas resultantes son herramientas que, cuando se utilizan correctamente, aumentan de modo significativo el rendimiento también en el sector industrial. ■

AADECA 2020, ¿qué aprendimos y qué oportunidades nos dejaron los paneles sobre Industria 4.0?



Andrés Gorenberg
andres.gorenberg@siemens.com

Los paneles del foro que llevamos a cabo a fines de octubre pasado en AADECA 2020 en modo virtual han mostrado una gran diferencia con los de otros años, no solo por lo que ya es un lugar común, es decir, destacar el uso de las herramientas informáticas para hacer estos encuentros de manera virtual, sino sobre todo porque esta vez tratamos temas como Industria 4.0 desde una madurez, un entendimiento y una mayor experiencia respecto de otras veces. Además, con una sensibilidad mayor, pues en un año en el cual lo virtual y digital se volvió realidad cotidiana en nuestras vidas, quizás más que nunca estamos sensibilizados sobre cómo estas innovaciones impactan verdaderamente en la industria y en nuestro país.

Posiblemente, por la acumulación de conocimiento y difusión del tema, aunque ya hace casi diez años que el tema está implantado en el mercado, con alegría observamos que pudimos armar foros para pensar, evitando hablar de bits y bytes o de estafalarias arquitecturas tecnológicas, válidas con o sin Industria 4.0.

Pudimos plantear temas más importantes sobre el concepto más amplio, el rol de los diferentes actores, la importancia de la educación y la formación profesional y hasta pudimos contar con la presentación de un caso real y exitoso, local, de verdadera implementación.



En un primer panel, nos planteamos la pregunta: Industria 4.0, ¿llegó a la Argentina? Y para armar una respuesta, contamos con las importantes contribuciones de la licenciada Paula Isaak, desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación; el licenciado Damian Giaccone, responsable de integración IT/OT en *Trivium Packaging*, y quien firma esta nota desde una perspectiva personal dada por el aprendizaje y formación en una empresa fundadora del concepto. Contamos con la moderación del presidente de AADECA, Marcelo Petrelli.

En un año en el cual lo virtual y digital se volvió realidad cotidiana en nuestras vidas, quizás más que nunca estamos sensibilizados sobre cómo estas innovaciones impactan verdaderamente en la industria y en nuestro país.

Panel "Industria 4.0, ¿llegó a la Argentina?"

Comenzamos haciendo un repaso de lo que significa e implica Industria 4.0 para sacar una gran conclusión: que proyectos de esta clase deben tener como objetivo principal el negocio y su estrategia competitiva, tan simple y tan importante esta conclusión, no solo desde el aporte del sector privado y tecnológico, sino también desde el rol y cooperación con el sector público, para lo cual contamos con ejemplos concretos que dio Paula Isaak sobre las iniciativas públicas actuales para fomentar la innovación de manera inclusiva, es decir, apuntando en especial a PyME e industrias sectoriales incipientes que necesitan salir a competir.

Las estrategias de difusión, las competencias requeridas y la sensibilización en los mandos medios gerenciales fueron otros desafíos que se señalaron, como también los diferentes niveles de maduración (heterogeneidad desde el 2.0 al 4.0), que también se produce en base a ejes regionales, y la vinculación entre los principales actores (público, privado, académico, tecnológico), que se expresaron como líneas de trabajo donde todos tenemos para contribuir.

Giaccone hizo una presentación sobre la preparación e implementación de su planta para prepararla para la extracción de datos y su análisis, y contó los desafíos y aprendizajes que obtuvieron, los impactos del cambio cultural, el descubrimiento de valor y conocimiento y la multiplicación de proyectos extendidos que resultan de la iteración de cada iniciativa.

Enseñar a enseñar

En línea con aquel primer panel, a continuación tuve el gusto de moderar el panel sobre educación y formación profesional, al cual le pusimos el título grande de "Enseñar a enseñar", girando

alrededor de los desafíos que demandan las tecnologías 4.0 del futuro profesional.

Para este panel, contamos con la participación de la licenciada Cecilia Sleiman, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación; el licenciado Leonardo Rosso, consultor en Recursos Humanos en *Gaudens*, y el profesor Carlos Godfrid, del posgrado de automatización de la Facultad de Ingeniería de la UBA.

Proyectos de esta clase deben tener como objetivo principal el negocio y su estrategia competitiva, tan simple y tan importante esta conclusión.

En este panel pude extraer una “triangulación” entre tres componentes cruciales relacionados con la necesidad de generar recursos profesionales, estos son:

- » Tecnología
- » Educación
- » Empleos

Como mencionara Cecilia Sleiman, en relación a estudios sociológicos, ninguno de estos tres vértices genera los recursos solo per se, y la articulación es vital, destacando la importancia de la enseñanza, la gestión de las instituciones y la formación docente (“enseñar a enseñar”).

Durante su intervención, el reconocido Carlos Godfrid manifestó que las nuevas plataformas o medios tecnológicos de aprendizaje proveen innumerables ventajas y nuevas posibilidades, pero nunca reemplazan el contenido (como ejemplo expresó “No por verla por streaming, una película va a ser mejor que si la viéramos en el cine”). También apuntó a lo interesante de concebir la

formación profesional de manera holística, como trabajando en un proyecto.

Finalmente, Rosso cubrió, entre otros aspectos, los relacionados con el rol de la empresa como formadora de profesionales y que, por ende, debe contemplar una actitud no solo de cazatalentos sino también de entrenamiento. Debe manejar tiempos e inversiones, como amerita la formación que busca maximizar el potencial de la gente, y debe ser constante durante toda la carrera profesional de la persona.

Ninguno de estos tres vértices [tecnología, educación y empleos] genera los recursos solo per se, y la articulación es vital, destacando la importancia de la enseñanza, la gestión de las instituciones y la formación docente.

Como conclusión, creo que fue una buena idea y así resultó plasmada, la posibilidad de armar espacios de reflexión, opinión y generación de conceptos e ideas alrededor del tema Industria 4.0, desde los diferentes aspectos sociales, económicos y tecnológicos. No se puede dejar de aprender lo que implica esta nueva estrategia competitiva industrial si no es desde esos aspectos, extendidos a la educación y formación de los recursos necesarios para estar a la altura del desafío. Gracias a AADECA por haber sido catalizador de esta discusión y aglutinante ideal para este espacio. ■

Soluciones concretas para llegar a la fábrica digital

#DigitalFactoryNow,
una propuesta completa para llevar a cabo
un plan de digitalización industrial



Ing. Hernán López
Phoenix Contact
www.phoenixcontact.com.ar

El transductor de magnitudes físicas de un proceso, la transformación a un sistema de numeración determinado, el transporte de la variable que contiene el dato y su representación, junto con la actuación sobre el sistema (la planta, si nos referimos a sistemas de control) según umbrales predeterminados, más la acumulación de estas mediciones en bases de datos: todo esto vinculado de alguna manera y, fundamentalmente, asociado al procesamiento inteligente de datos, que entonces se convierten en información, es lo que llamamos digitalización industrial.

Esta información, en última instancia, es la que tiene valor. Cuantos más datos se obtienen y mejor se procesan, más valor para la industria. El corazón de la *#DigitalFactory* son los datos.

*Cuantos más datos se obtienen
y mejor se procesan, más valor
para la industria. El corazón
de la #DigitalFactory son los
datos.*



En muchos casos, la arquitectura informática puede ser bastante compleja de visualizar, especialmente cuando se proviene de una estructura informática jerárquica y piramidal, en la cual cada capa del modelo utiliza sus propias bases de datos y sus propios protocolos de comunicación. Estas cuestiones, junto con el propio concepto de comunicación cliente-servidor, traen aparejadas limitaciones a la hora de concebir las posibilidades y beneficios de la digitalización en la industria.

Un esquema más moderno, donde todos los datos están disponibles dentro de la red para cualquier participante que los requiera, como el denominado publicador-suscriptor, avalado por una plataforma de comunicación robusta y cibersegura, es lo que permite desarrollar ampliaciones y actualizaciones sin incurrir en grandes costos de ingeniería. Es decir, un sistema de automatización industrial a prueba de futuro.

La captura eficaz del dato, el transporte ciberseguro y la persistencia del dato gracias a bases de datos confiables y con alta disponibilidad son elementos clave porque otorgan validez y permiten obtener mejor información. El aprovechamiento de la información es, en última instancia, el momento en el cual se monetiza, de alguna manera, la inversión. Puede ser porque se entrega mayor valor al cliente o usuario, o bien, porque los procesos productivos ganan en eficiencia.

La *#DigitalFactory* despliega cuatro segmentos con sus respectivas implementaciones tecnológicas, cada uno de los cuales ofrece beneficios capaces de responder a los desafíos planteados más arriba:

- » *#datacollect* (recolección de los datos)
- » *#datatransport* (transporte de los datos)
- » *#datasecure* (seguridad de los datos)
- » *#datause* (utilización de los datos)

Soluciones industriales como la conectividad de campo *M12*, las fuentes de alimentación con grado de protección IP 67, las cabeceras de comunicación, los *BLE* (Bluetooth de baja energía, por sus siglas en inglés) o las bobinas de *Rogowski* combinadas con los analizadores de energía *Empro* son ejemplos sencillos de empleo de la tecnología industrial para la recolección de datos (*#datacollect*).

El transporte de los datos se puede hacer de manera efectiva con switches ethernet *FL Switch 1000*, o bien, a través de redes inteligentes con los *FL Switch 2000* de *#phoenixcontact*.

Infraestructura *WLAN industrial* y soluciones de conexión completan la paleta de productos que permiten el transporte de datos (*#datatransport*).

Asegurar el dato es fundamental para que la información sea confiable. Sistemas de alimentación redundante *#Quint*, alimentación ininterrumpida UPS, dispositivos de ciberseguridad industrial y conectividad remota son fundamentales para esa tarea (*#datasecure*).

Respecto del segmento de utilización de datos (*#datause*), *Phoenix Contact* provee soluciones tecnológicas que permiten beneficiarse con aplicaciones más eficientes. *Contactron Speed Starter* y *PLCnext* son dos ejemplos de implementación de soluciones industriales con grandes beneficios.

Cursos de formación y webinars de actualización tecnológica son herramientas fundamentales para mantenerse al día en lo que toca a nuevas soluciones eléctricas, electrónicas e informáticas para la industria. ■■



Crónica de la idea, desarrollo y construcción de un vehículo eléctrico

En tiempos de cuarentena, en Portugal e inspirado en las actividades de los transeúntes en una calle de paseo, el ingeniero

Luis Buresti ideó, desarrolló y construyó de forma amateur "ecoPT", un vehículo eléctrico de cuatro ruedas para comandar en posición erguida. En este artículo, una crónica de todo el proceso, desde la idea hasta el desarrollo de la última versión.

Luis Buresti
luis.buresti@gmail.com

Proyecto ecoPT
<https://www.youtube.com/watch?v=-Ps5cx3NhpK>

El origen de la idea

En enero de 2020, unos pocos meses antes del inicio del "caos" CoViD, tuve la oportunidad de estar algunos días en Marbella (España). En esa ciudad, hay una calle costanera peatonal muy concurrida, inclusive en invierno. La mayoría de la gente camina por ahí varias veces ida y vuelta, otros van trotando. También hay jóvenes que usan monopatines o *segways*, y otros que circulan en patinetas o *longboards* eléctricos. Por supuesto, también es posible encontrar gente mayor que circula en triciclos eléctricos, o directamente en sillas de ruedas.

En un momento dado, tuve la oportunidad de charlar un buen rato con una persona que atendía un puesto callejero de alquiler de *segways*. Me comentó que algunas personas, digamos mayores de 50 años, no eran muy adeptas a alquilar estos vehículos porque les producía una sensación de inseguridad o, incluso, de mareo. En mi opinión, probablemente esto se debe a la función de autobalanceo que utiliza el *segway* para mantenerse en equilibrio solo con dos ruedas, aun cuando está detenido.

Es entonces que pensé que no había nada intermedio entre lo que usaban los más jóvenes y lo que usaban los que decididamente pertenecían a la tercera edad. Me imaginé que había que inventar una especie de vehículo "crossover" entre un scooter (divertido de manejar) y una silla de ruedas (inherentemente estable).

Los puntos fundamentales de la idea original

Desde el inicio, la idea fue crear un vehículo con cuatro ruedas, pero que se conduzca estando parado. Después de todo, Neil Armstrong aterrizó el módulo lunar estando parado y casi sin ningún apoyo adicional.

Era importante adoptar soluciones modernas y, por lo tanto, era deseable eliminar todo tipo de

comando mecánico, o sea, elementos tales como un volante de dirección o cables de freno. También, consideré que una maniobrabilidad fina era fundamental, ya que este es un vehículo que seguramente será utilizado en calles o veredas compartidas con peatones. Esta característica, además, podría ayudar para convertir el vehículo en una plataforma de observación en lugares muy concurridos.

Para completar la idea, se imponía también lograr un buen manejo energético. Para esto, decidí incorporar un panel solar y adoptar la técnica de frenado regenerativo, que permite que la energía cinética del vehículo en movimiento se convierta nuevamente en energía almacenada en las baterías, lo cual contrasta fuertemente con lo que hacen los frenos mecánicos convencionales, que simplemente disipan esa energía como calor al ambiente.

"Me imaginé que había que inventar una especie de vehículo 'crossover' entre un scooter (divertido de manejar) y una silla de ruedas (inherentemente estable)".

Algunas características del proyecto

La decisión fue construir un prototipo que fuera lo más simple posible, teniendo en cuenta que disponía de pocos recursos en lo que se refiere a espacio de trabajo, herramental e instrumental de medición.

El diseño lo hice con papel, lápiz y goma, algo claramente alejado de los métodos actuales de trabajo. En consecuencia, y a pesar de los cuidados que tuve, surgieron algunos problemas debi-



Figura 1. Procedimientos ingenuos de diseño. A falta de otros recursos, se hicieron varios esquemas sobre cartones en escala 1:1 para planificar la distribución de componentes. El primero es un mock-up/fotomontaje de la plataforma principal; el segundo corresponde al pórtico de comando. Seguramente un puesto de trabajo CATIA habría sido excesivo, pero AutoCAD 3D habría sido una buena herramienta para este proyecto.

dos a interferencias mecánicas. Afortunadamente, casi todos estos inconvenientes se pudieron resolver con relativa facilidad. No obstante, estas limitaciones nunca fueron una razón para restringir los objetivos pretendidos, es decir, que un manejo energético eficiente, una conducción divertida y una mecánica moderna se mantuvieron como premisas irrenunciables.

También consideré este proyecto como una buena oportunidad para probar tantos componentes de "calidad comercial" como fuera posible, de proveedores de bajo costo tales como Amazon, BangGood, AliExpress, y otros.

Un objetivo secundario era utilizar este proyecto como excusa para desarrollar proveedores en la zona. Esto es en consideración de futuros desarrollos, como el "momentáneamente archivado"



Figura 2. Montaje del ecoPT (primera versión). Izquierda: vista general de la construcción. El panel solar cumple un rol de alfombra en la plataforma que ocupa el conductor. Derecha: vista del espacio entre plataformas. Todos los elementos del tren de tracción, de la alimentación eléctrica y del sistema de control están montados en esta zona. Los cuatro packs de baterías se pueden ver en primer plano. Los suplementos de elevación son solo para los ensayos de rotación de las ruedas.

eeBoat. Considerando las características del sur de Portugal, ese proyecto en particular resultó ambicioso. Fue un proceso que demandó mucho tiempo y fue el origen de una serie de anécdotas, algunas de ellas, extremadamente graciosas. No obstante, los resultados terminaron siendo muy positivos, ya que casi todos los proveedores locales seleccionados mostraron ser muy confiables, con una excelente calidad de trabajo y, lo más importante, con un trato personal muy agradable. De todas maneras, es importante mencionar que la mayor parte de las piezas mecanizadas fueron provistas desde Argentina.

Todo este proceso también fue útil para familiarizarme con las prácticas comerciales y procedimientos administrativos locales (por ejemplo, despachos de Aduana).

Me esforcé para que la documentación de diseño y construcción fuera lo más rigurosa y detallada posible. Esto no solo era deseable por una mínima razón de orden, sino que además era esencial

para evitar errores al trabajar con proveedores de distintos países y en distintos idiomas.

Solo a los efectos de dar una idea de los tiempos involucrados, se puede mencionar que las compras de componentes iniciaron hacia el 20 de julio; el montaje de la primera versión, hacia fines de agosto de ese mismo año, y el proyecto se dio por terminado oficialmente en abril de 2021.

Es importante destacar que el proyecto ecoPT se hizo de forma amateur, totalmente financiado por este autor, sin ningún interés económico específico.

“La decisión fue construir un prototipo que fuera lo más simple posible, teniendo en cuenta que disponía de pocos recursos en lo que se refiere a espacio de trabajo, herramental e instrumental de medición”.

El nombre

Las letras “PT” son las iniciales de “Personal Transporter” (“transportador personal”). Solo por casualidad “PT” también es la sigla de Internet de Portugal, país en donde desarrollé este proyecto.

La denominación final “ecoPT” intenta poner énfasis en los aspectos energéticos, en particular debido al hecho de que este vehículo podría ser totalmente autosuficiente.

Debido a la crisis mundial CoViD, todos los temas vinculados con la movilidad urbana han cobrado relevancia, y por lo tanto el subtítulo “Clever Personal Mobility” (movilidad personal inteligente) podría ser el que mejor represente las ideas subyacentes de este proyecto.

Otras siglas que también incorporé a la gráfica del vehículo son las que siguen:

- » DbW: Drive by Wire (conducción por cable)
- » 4WD: Four Wheel Drive (manejo con cuatro ruedas)
- » h.Power: Hybrid Power (potencia híbrida)
- » r.Brake: Regenerative Brake (freno regenerativo)

La cruz suiza amarilla que incorporé como una suerte de logotipo en el panel frontal intenta representar el signo matemático de suma “+” para transmitir la idea de que el ecoPT es la suma de diversas tecnologías y capacidades.

Hasta ahora, el ecoPT también ha recibido varios sobrenombres. Por nombrar algunos: “Segway del Tercer Mundo”, “Rompeespaldas”, etc. De todas maneras, la denominación más representativa se la dio mi nieto Pedrito: “Viejiteitor” (tal vez habría que escribirlo “Viejitator”).

“La denominación final ‘ecoPT’ intenta poner énfasis en los aspectos energéticos, en particular debido al hecho de que este vehículo podría ser totalmente autosuficiente”.

La mecánica

Resolví la estructura del ecoPT mediante dos simples plataformas construidas con madera MDF. En la plataforma inferior, ubiqué las ruedas/motores, los packs de baterías, las barras de distribución de potencia eléctrica y toda la electrónica de control; mientras que en la plataforma supe-



Video 2. Ensayos de resistencia de las plataformas
<https://www.youtube.com/watch?v=F5J2sq7Tnw4>

rior, monté el panel solar y, obviamente, sirve de piso para el conductor.

Debido a que, inicialmente, tuve algunas dudas sobre la resistencia mecánica de las plataformas, hice algunos ensayos para estimar la deformación que podrían presentar (ver video 2).

Los instrumentos, y todos los elementos de comando, se ubicaron en un pórtico construido con tubo de acero inoxidable. El diseño simple de esta pieza intentó adecuarse a los métodos de fabricación disponibles localmente.

Para la propulsión, seleccioné cuatro motores “Hub-Motors”. Estos dispositivos, que son los que se emplean habitualmente en los monopatines eléctricos, son un conjunto compacto cuyo motor eléctrico BLDC está integrado en la llanta de la rueda. Existe una gran variedad de modelos disponibles, con precios accesibles.

Debido a que las ruedas motrices son cuatro, la idea original fue implementar un sistema de dirección diferencial (en inglés, “Differential Steering”) similar al que utilizan algunos vehículos guiados automáticamente (AGV, por sus siglas en inglés). Este aspecto del diseño lo analizo con cierto detalle más adelante.

Como ya dije, adopté el método de frenado regenerativo para este vehículo. Es importante tener

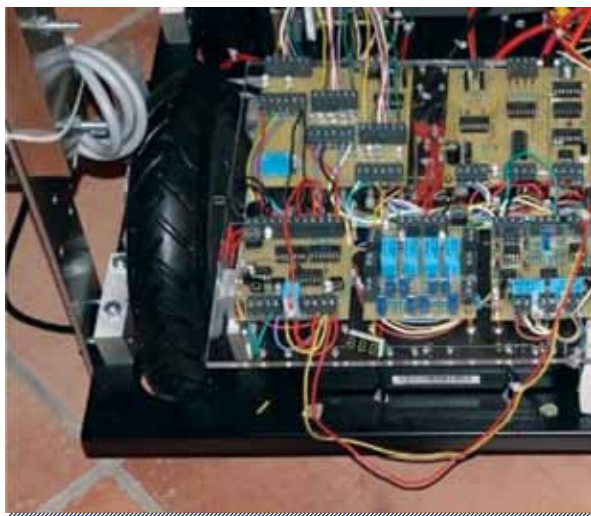


Figura 3. No es conveniente usar una alpargata como freno de prony. Durante uno de los ensayos iniciales, estaba calzado con alpargatas y frené repetidamente una de las ruedas con mi pie. Lo hice para analizar el consumo eléctrico del motor y la estabilización del lazo PID de velocidad. La mancha negra que se puede ver en el piso es polvo proveniente de la suela carbonizada. El trazo del medio lo hice con el dedo, simplemente porque no entendía qué había sucedido.

en cuenta que esta técnica de frenado solo es eficiente mientras el vehículo está en movimiento. A baja velocidad, o con el vehículo parado, el frenado regenerativo tiene poco o ningún efecto.

Inicialmente, diseñé un sistema de frenado mecánico auxiliar basado en zapatas de freno que hacían contacto con las ruedas; estas zapatas se accionaban mediante electroimanes. Este método de frenado no es muy diferente del que se puede encontrar en los buggies ferroviarios. La elección de electroimanes como actuadores de frenado no fue para nada acertada. Estos dispositivos son poco eficientes, generan una fuerza razonable solo con carreras muy cortas y, además, consumen mucha energía (¡con el consiguiente calentamiento!).

Afortunadamente, a medida que avancé con el sistema de control de los motores (placas FSFC, como se verá más adelante), pude determinar que las opciones de frenado eléctrico disponi-

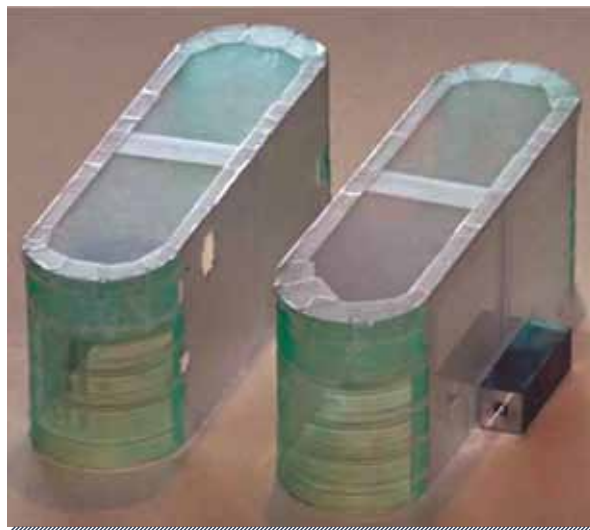


Figura 4. Artesanía. Estas son las piezas construidas para resolver los guardabarros del tandem de ruedas frontales, de construcción 100% artesanal. Además, estas partes hacen que el ecoPT se ubique en la cumbre de la protección medioambiental: las partes curvas están construidas con PET reciclado de botellas de agua mineral.

bles eran muy poderosas y eficientes, bastante superiores a lo que imaginé en un principio. Por esta razón, decidí no instalar un sistema de frenado mecánico (a pesar de que ya había construido o comprado todas las partes), y opté por utilizar únicamente las funciones eléctricas disponibles. Posteriormente, ya en la tercera versión, implementé un sistema de frenado de estacionamiento mediante el posicionamiento de las ruedas frontales en una posición de bloqueo, solución que resultó ser sencilla y eficiente desde un punto de vista energético.

Entre todas las opciones de frenado mecánico que consideré, el uso de frenos de disco con calipers accionados eléctricamente merece mayor detenimiento. La principal ventaja de esta solución es la disponibilidad a bajo costo de toda la "ferretería" requerida, ya que esas partes se utilizan frecuentemente en scooters o en bicicletas de alto rendimiento.

Un método de frenado mecánico complementario podría ser conveniente en caso de que se decida desarrollar un sistema ABS o si, eventualmente, se requiriera por reglamentaciones de seguridad.

Aunque pueda parecer poco sofisticado, el método que elegí para unir a las plataformas superior e inferior terminó siendo muy satisfactorio. Las piezas construidas son planchuelas simples con montaje externo y, en la práctica, ofrecen una buena rigidez estructural y gran facilidad para montar y desmontar la plataforma superior.

Las protecciones para las ruedas las consideré en un principio como “accesorios para instalar en el futuro”, pero después de algunos ensayos en campo, tuve claro que eran absolutamente imprescindibles para evitar el ingreso de suciedad al interior del ecoPT.

Una simple “L” en acrílico fue una solución perfecta para resolver los guardabarros traseros, aunque las protecciones delanteras terminaron siendo una especie de artesanía.

Hubo dos criterios originales de diseño que no pude cumplir. Uno de ellos era que el peso total se mantuviese lo suficientemente bajo como para que el ecoPT se pueda manipular fácilmente. Inicialmente, propuse un valor objetivo en el rango de 20 a 25 kg, y la última versión tiene un peso cercano a los 55 kg. De todas maneras, hay que mencionar que este objetivo original era extremadamente optimista ya que solo las cuatro ruedas de tracción y los packs de baterías de ion-litio superan los 18 kg.

El otro criterio original de diseño que no fue posible satisfacer fue la condición de que el ecoPT se pueda transportar en el baúl de un automóvil pequeño. La primera versión cumplía perfectamente este requerimiento, pero cuando tuve que agrandar las bases debido a los problemas de inestabilidad, las dimensiones finales terminaron excediendo este objetivo.



Figura 5. Circuito de potencia eléctrica. Imagen tomada durante el montaje de la segunda versión. En primer plano se ven los cuatro packs de baterías. En el centro está ubicado el interruptor maestro accionado mediante llave y el fusible ultrarrápido. Más atrás se puede ver el contactor de alimentación del circuito de motores (aunque es poco visible debido al bajo contraste). Finalmente se ubican las barras de distribución y, cerca del fin de la plataforma, se encuentran dos placas para elevación de tensión (una para el panel solar y la otra para la alimentación de 12 V desde un vehículo); a su derecha se observa el cargador principal con entrada 220/240 VAC.

"Debido a que, inicialmente, tuve algunas dudas sobre la resistencia mecánica de las plataformas, hice algunos ensayos para estimar la deformación que podrían presentar".



Video 3. Ensayos

<https://www.youtube.com/watch?v=fSfgPKE74Vo>

El sistema eléctrico

Para la selección de las ruedas/motores de tracción (uno de los componentes críticos del diseño) me basé en el criterio de que fueran “lo más estándar posible”, y por lo tanto elegí los que se utilizan en los scooters más populares del mercado.

Los motores BLDC (“sin escobillas, corriente continua”, por sus siglas en inglés) que adopté tienen una potencia nominal de 250 W cada uno (a 36 V) y pueden operar con picos de hasta 500 W. El diámetro de las ruedas es de 220 mm. Vale aclarar que los motores BLDC son similares a un motor trifásico estándar, con tres bobinados conectados en configuración estrella. El modelo seleccionado incluye un sensor integrado por efecto Hall para la realimentación de la velocidad de rotación.

Tal vez, el principal inconveniente de este tipo de motor producido en serie a bajo costo es que su eficiencia está lejos de ser espectacular y que son pocos los fabricantes que proveen información confiable de ensayos. Existe otro problema que es mucho más trivial, pero que merece ser mencionado: la calidad de las cubiertas y cámaras deja mucho por desear, y por lo tanto las pinchaduras son bastante frecuentes.

En los gráficos operacionales se puede apreciar que su eficiencia nunca supera el 75% y que en ciertas condiciones (por ejemplo, transitorios de

aceleración) este valor puede caer fácilmente por debajo del 30%.

Esta eficiencia relativamente baja se puede advertir de manera intuitiva ya que estos motores son los únicos componentes que toman cierta temperatura después de periodos prolongados de servicio.

Otro componente crítico del proyecto son los packs de baterías. Aquí, el criterio de selección fue diametralmente opuesto al anterior: “máxima calidad”. La razón de esto es muy simple: baterías de ion-litio de calidad incierta han sido responsables de gran cantidad de incidentes.

Los packs de baterías elegidos tienen una estructura 10S + 3P y están basados en la celda Panasonic 18650, la cual está muy documentada y se usa en muchas aplicaciones de exigencia elevada. Solo como referencia, puedo decir que un automóvil Tesla S está equipado con 7.776 celdas de este tipo.

El ecoPT utiliza cuatro packs de baterías con 120 celdas en total. La tensión nominal de salida es de 36 V (42 V a plena carga), y pueden entregar picos de corriente en exceso de 200 A.

De todas maneras, la corriente de descarga máxima óptima que permite tener la mayor autonomía está estimada en 48 A, valor que sigue siendo considerable.

No incorporé ningún tipo de BMS (“sistema de gestión de batería”, por sus siglas en inglés) ya que, tanto por cálculo, como por los resultados de varios ensayos, se estima que el riesgo que presentan estos packs de baterías es bajo. No obstante, prevé el lugar físico para el montaje.

Según cuáles sean las condiciones de servicio, la autonomía la estimé originalmente entre 70 y 140 minutos, valor muy superior al publicado para otros vehículos similares. Pero en la práctica este valor ha resultado ser muy superior.

A partir de los últimos ensayos realizados (con velocidades de conducción entre 10 y 15 km/hr, en

superficies lisas y con pendiente moderada), es posible estimar que la autonomía puede llegar fácilmente a un máximo de 8 horas, indudablemente un resultado superlativo.

Las baterías se pueden cargar mediante cuatro métodos diferentes:

- » Panel solar
- » Línea de 220/240 Vca
- » Entrada auxiliar de 12 Vcc (encendedor de un automóvil)
- » Frenado regenerativo

"Toda la lógica de control está basada en tecnología CMOS, y el procesamiento de señales lo resolví de forma analógica, con amplificadores operacionales".

Debido a todas estas variantes, utilizo la expresión "Hybrid-Power" para caracterizar el tipo de alimentación eléctrica implementada.

Debido a sus dimensiones limitadas, el panel solar tiene una potencia nominal de solo 50 Wep (2,7 A, 18 V), pero su aporte de energía puede ser significativo e incluso convertir el ecoPT en totalmente autosuficiente desde un punto de vista energético.

Diseñé (aunque todavía no construí) un "contador de energía solar" que emite una señal sonora (un simple beep o un mensaje breve elaborado con un sintetizador de voz) cada vez que se genera una cierta cantidad de joules (o W/h). Esto le indica al usuario claramente la energía que está ahorrando y el aporte que está haciendo al medioambiente. En caso de que se utilice un sintetizador de voz, el mensaje podría incluir palabras tales como "Ahorrando nuevamente", o "Crédito verde".

El panel solar es de tipo semiflexible y está basado en tecnología de película delgada. La hoja de datos informa una eficiencia del 21%, valor que parece ser algo exagerado. Aunque no hice las mediciones de precisión, posiblemente un valor del 19% esté más cercano a la realidad.

Es posible que una persona se pare sobre este panel sin que sufra daño y sin pérdida de rendimiento significativa; en parte, esto se debe a la película protectora seleccionada (ECTFE). De todas maneras, es imprescindible que el conductor utilice calzado con suela blanda (por ejemplo, zapatillas), y no están admitidos en absoluto los zapatos con taco duro.

He realizado algunos ensayos preliminares para validar el diseño y también efectué múltiples comprobaciones durante los ensayos operativos (ver video 3). Sin ir más lejos, instalé un voltímetro auxiliar para verificar el funcionamiento del panel solar y de su placa elevadora de tensión durante los ensayos en la vía pública.

El cargador principal está integrado en el ecoPT y, por lo tanto, el usuario no debe disponer de ningún tipo de equipo adicional o especial. Tampoco se requiere de ningún tipo de estación de carga especial, basta con un simple tomacorrientes domiciliario.

Con baterías totalmente descargadas, es posible completar la carga en 6 a 8 horas con una línea común de 220/240 Vca. Adicionalmente, está disponible una entrada auxiliar de carga a partir de una línea de 12 Vcc con conexión tipo encendedor de automóvil. Esta segunda opción es muy práctica, ya que permite cargar a las baterías del ecoPT desde cualquier vehículo.

Tanto el panel solar, como la entrada auxiliar de 12 Vcc, utilizan plaquetas elevadoras de tensión para llegar al potencial de las barras de baterías (42 V máximo). Estas placas permiten, además, limitar en forma sencilla la máxima corriente de carga.

En el panel trasero del vehículo, incorporé un interruptor maestro con llave que corta todo el su-

ministro eléctrico, y también incluí un fusible ultrarrápido para protección general.

Los motores de tracción se alimentan mediante un contactor, el cual recibe energía desde un circuito de enclavamiento sobre el cual actúan diversas medidas de seguridad (por ejemplo, interruptor de inercia, interruptor de “hombre muerto”, etc.).

Debido a que el ecoPT es un vehículo netamente experimental, decidí realizar todo el cableado de potencia utilizando un “criterio industrial” y, por lo tanto, lo estructuré en base a barras de distribución con una topología estrella para el potencial de tierra (masa). Esta característica es muy importante debido a que ese potencial es la referencia de todas las señales de control, tanto analógicas, como digitales.

Claramente, la solución basada en barras requiere mucho más espacio de instalación que alguna otra alternativa más compacta, pero ha sido de gran ayuda en las etapas de desarrollo.

La corriente de entrada/salida de los motores de tracción es una de las variables controladas más relevantes y, por lo tanto, incorporé tres métodos redundantes de medición:

- » El que implementé en las placas FSESC en base a la resistencia de encendido de los MOSFET. (Actualmente, el sistema de control no utiliza esta medición, ya que solo está disponible a través del CAN Bus de las placas FSESC).
- » Un resistor shunt clásico (100 A, 75 mV) para el multímetro instalado en el pórtico de comando.
- » Sensores por efecto Hall sin contacto para las entradas del data-logger.

También diseñé y ensayé un banco de supercapacitores formado por 16 capacitores de 60 F en serie (2,8 V nominales). La idea es que estos dispositivos conectados directamente a las barras

de alimentación sirvan para proveer los picos de corriente requeridos durante las aceleraciones. Aún no instalé este conjunto, aunque sí está previsto el espacio para el futuro.

Para concluir este punto, añado un comentario de naturaleza 100% práctica: todo el cableado del ecoPT, tanto de potencia eléctrica, como electrónico, lo hice con conductores de tipo ultraflexible con aislación en goma de siliconas. Si bien este tipo de material tiene un costo bastante superior comparado con las opciones estándar, en la práctica ha sido muy beneficioso ya que permitió simplificar muchos detalles de instalación.

Dirección diferencial = Una selección fallida

Ya mencioné que una de las ideas básicas de este proyecto era eliminar los comandos de tipo mecánico para tratar de materializar el concepto “Drive by Wire”, y que había elegido el método de dirección diferencial para llevar este objetivo a la práctica.

El concepto detrás de la dirección diferencial es sencillo: los vehículos convencionales giran utilizando algún tipo de rueda direccional (por ejemplo, la conocida geometría Ackermann, en la cual se basan casi todos los automóviles); pero en realidad, cuando un vehículo gira, las ruedas externas se desplazan más rápidamente que las internas y por lo tanto, si se dispone de elementos de tracción independientes a cada lado, es posible girar simplemente fijando esa diferencia de velocidades. Simplificando: si un vehículo debe girar a la izquierda, basta lograr que las ruedas derechas se desplacen más rápidamente que las izquierdas.

Entonces, es posible imaginar que si se conoce esa diferencia de velocidades no debería ser difícil determinar el radio de giro del vehículo. En la práctica, lamentablemente, se presentan algu-



Figura 6. Super goniómetro. Puede parecer algo precario, pero este fue el disco que usé para tratar de correlacionar "donde apunta" la palanca de control vs. el radio efectivo de giro.

nos inconvenientes que intentaré explicar con algún grado de detalle.

Actualmente, existe una enorme cantidad de bibliografía referida a este tema, en particular, debido al gran desarrollo de los AGV. No obstante, el primer análisis riguroso de esta solución se atribuye a M.G. Bekker y a su libro de 1956 titulado "Theory of Land Locomotion: The Mechanics of Vehicle Mobility".

Es importante mencionar que varios de estos análisis se hicieron respecto del desarrollo de vehículos propulsados por orugas (por ejemplo, tanques de guerra). En el libro "Theory of Ground Vehicles" (2001), J.Y. Wong también elabora ampliamente la matemática de este esquema de dirección.

Una versión simplificada de la ecuación que permite calcular el radio de giro del vehículo se puede escribir como sigue:

$$R = \frac{W(V_L + V_R)}{2(V_L - V_R)}$$

en donde "R" es el radio de giro; "W", la trocha del vehículo; " V_L ", la velocidad de ruedas izquierdas, y " V_R ", la velocidad de ruedas derechas.

De la expresión anterior se puede ver que el radio de giro es inversamente proporcional a la diferencia de velocidades entre las ruedas izquierdas y derecha ($V_L - V_R$), pero también es directamente proporcional a la velocidad media del vehículo representada por el término " $(V_L + V_R)/2$ ".

En principio, se podría deducir que cuando la velocidad del vehículo es baja, se podrían lograr radios de giro muy pequeños (virajes muy cerrados), pero en la práctica se llega a situaciones de gran inestabilidad, a lo que se suman otros inconvenientes.

Primer inconveniente

Uno de estos inconvenientes es de naturaleza casi psicológica, ya que se genera una situación que desafía la intuición del conductor. En un vehículo "normal" (un automóvil, por ejemplo), este se dirige aproximadamente hacia donde apunta el volante, y esta relación es independiente de la velocidad de desplazamiento. Para el ecoPT, la idea básica era tener un efecto análogo y, por lo tanto, tuve la intención de lograr una especie de "correlación intuitiva" entre la posición de la palanca de control y la dirección/trayectoria final del vehículo.

Claramente esto no es fácil de lograr con el método de dirección diferencial, ya que para lograr el mismo radio de giro, la palanca de control debería apuntar hacia direcciones diferentes en función de la velocidad del vehículo.

Este problema se podría resolver con algún tipo de electrónica de control o con un software de corrección (por ejemplo, usando una tabla de linealización); pero además de las complejidades involucradas, se producen algunas situaciones de alta ganancia que en ciertas condiciones pueden derivar en inestabilidades (por ejemplo, con un muy pequeño movimiento de la palanca de control, se produce un gran cambio en el radio de giro).



Figura 7. Comparación visual de bases. Derecha: primera versión, con geometría corta (trocha superior a la distancia entre ejes). Izquierda: segunda versión, con geometría cuadrada (trocha similar a la distancia entre ejes). En ambos casos, la trocha se mantuvo en 550 mm

Segundo inconveniente

Existe otra característica que requiere un breve análisis de la estructura general del sistema. El conductor manipula la palanca de control para definir la trayectoria. Esta señal se podría denominar “set-point primario de dirección”. Esta señal es la entrada de la unidad de control (PTCU) que calcula la diferencia de velocidades que debería existir entre las ruedas derechas e izquierdas para satisfacer el pedido del conductor. Entonces, se tienen como mínimo dos señales, que se podrían denominar “set-points secundarios de dirección”, y que se van a suministrar como punto de consigna de velocidad a las placas FSESC que controlan los motores.

Estas placas, a su vez, mediante un lazo PID regulan la velocidad de rotación de cada rueda, con el objetivo de mantener una relación de linealidad perfecta entre el mencionado set-point secundario de dirección y las RPM reales con las que gira cada rueda. Este aspecto es crítico en los sistemas de dirección diferencial.

De hecho, para verificar esta relación de linealidad (y el rendimiento de la PTCU), hice varios ensayos, en los cuales utilicé un medidor de RPM por láser de reflexión para medir con una cierta precisión la velocidad que alcanzaban cada una de las ruedas.

Es entonces, que como consecuencia de lo que ya expliqué, se derivan tres inconvenientes nuevos:

- » Las placas FSESC, cuando operan en modo control de velocidad, presentan un torque de arranque muy bajo, y esto puede ocasionar algún problema si el vehículo tiene que superar un obstáculo cuando comienza a moverse (por ejemplo, una pendiente o un montículo).
- » Las constantes de ajuste del lazo PID de velocidad son bastante dependientes de las condiciones externas (por ejemplo, el peso del conductor), y por lo tanto habría que implementar frecuentemente algún algoritmo de auto-tuning o implementar alguna solución de control adaptativo para que este lazo de control siempre opere en forma óptima.
- » Cuando la PTCU calcula la diferencia de velocidades, puede eventualmente ocurrir que ese valor deba ser bastante alto para satisfacer la trayectoria solicitada. Como un ejemplo algo extremo, imaginemos una situación en la cual las ruedas izquierdas deban girar al 80% de su velocidad máxima y las derechas, a un 20%. Con diferencias de velocidad tan elevadas comienzan a notarse los efectos de interacción mecánica entre las ruedas de cada lado. Dicho simplemente: unas ruedas arrastran las otras. (No se debe confundir este efecto con el deslizamiento, que será mencionado más adelante, ya que se produce incluso si se utilizan solo dos ruedas motrices y, obviamente, esta es la razón por la cual existen los diferenciales en los automóviles). Entonces, nos encontramos en la absurda situación de estar inyectando energía en las ruedas izquierdas y retirando energía de las derechas. Esto ocurre porque las placas FSESC realmente van a estar aplicando un cierto grado de frenado a las ruedas derechas con el objetivo de satisfacer la baja velocidad solicitada.

El comportamiento descrito en el último punto está totalmente “divorciado” de la premisa de un manejo elegante y eficiente de energía con la que comenzó el proyecto.

Ensayé, también, otras alternativas de control. Una de ellas fue la inversión del sentido de rotación de las ruedas. Se trata de una opción clásica para implementar el método de dirección diferencial, y de hecho es lo que utiliza en forma muy satisfactoria el mismo ecoPT para resolver las funciones de giro pivot.

La realidad es que esta variante de control es perfectamente válida cuando se ejecuta con el vehículo inicialmente detenido; pero cuando se trata de hacer con el vehículo desplazándose a una cierta velocidad (aunque sea muy baja), se produce un comportamiento brusco y mayormente errático.

Debido a que no pude encontrar algún método para hacer que la variante de control con inversión de marcha funcione con mínimo grado de “delicadeza”, fue descartada.

“Diseñé y construí un módulo denominado 'YCU' (“unidad de compensación de viraje”), que en la práctica funciona como un modo derivativo virtual”.

Tercer inconveniente

Existe un último aspecto relacionado del método de dirección diferencial que condicionó fuertemente el dimensionamiento del ecoPT.

Cuando un vehículo de cuatro ruedas gira, existen ligeras diferencias entre las velocidades de las ruedas delanteras y las traseras; esto se debe a que las ruedas no siguen exactamente la misma trayectoria. En los vehículos 4x4, este efecto se conoce como deslizamiento (slippage), y en la práctica se traduce como un cierto arrastre de al-



Video 4. Algunas limitaciones del sistema de dirección diferencial
<https://www.youtube.com/watch?v=rBW3Ej3QL50>

guna de las ruedas durante los giros. En los que son “verdaderos 4x4”, esta situación se corrige con la incorporación del famoso “tercer diferencial”, pero incluir el equivalente a esta función en el ecoPT habría significado complicaciones adicionales.

Por lo tanto, inicialmente decidí usar una geometría de construcción en donde la separación entre las ruedas (trocha) sea mayor que la distancia entre ejes. Esta selección minimiza el efecto de deslizamiento.

En la primera versión, adopté esta solución, pero fue un exceso de optimismo, porque en la práctica, el centro de gravedad del conductor terminó cayendo en una posición muy cercana al eje trasero. Esto tuvo por consecuencia que el vehículo se comportase en forma muy inestable durante la aceleración (¡incluso con aceleraciones pequeñas!). Tales inestabilidades fueron las que me llevaron a la construcción de la segunda versión, ya a comienzos del tercer trimestre de 2020.

La nueva versión seguía utilizando el sistema de dirección diferencial, pero adopté para ella lo que se conoce como una “base de ruedas cuadrada”, en donde la trocha es aproximadamente igual a la separación entre ejes. Esta segunda ver-

sión mostró un gran aumento de la estabilidad y, por lo tanto, la conducción pasó a ser segura.

El video 4, filmado durante uno de los ensayos preliminares de la primera versión, muestra algunas de las limitaciones del sistema de dirección diferencial y de las situaciones de inestabilidad asociadas con la base de geometría corta.

"Este desarrollo también pone en evidencia el enorme poder de las fuentes públicas de información disponibles actualmente que ayudan a mitigar (en parte) la mencionada falta de conocimiento".

Intentos fallidos de solución

Durante los últimos meses de 2020, llevé a cabo muchos ensayos tendientes a optimizar la técnica de dirección diferencial. El procedimiento típico de prueba era seguir trayectorias predefinidas trazadas en el piso de un patio, cada una de ellas con distintos radios de giro. Durante estos ensayos, incluso llegué a montar en forma temporal en el pórtico de comando un conjunto de instrumentos que permitían verificar en tiempo real que los valores de velocidades calculados por la PTCU fueran razonables.

Lamentablemente, se hizo evidente que era muy difícil (o imposible) lograr giros de "precisión quirúrgica" utilizando esta técnica de dirección, y claramente esta característica es imprescindible si el ecoPT se va a utilizar por calles o veredas compartidas con peatones.

Debo decir que durante las etapas iniciales del proyecto estaba fuertemente convencido de que la tecnología de dirección diferencial era la solución más elegante para implementar el concepto "Drive by Wire". Esta es la razón por la cual inten-

té adoptarla, tanto en la primera, como en la segunda versión.

A fines de 2020, debido a todos los inconvenientes descriptos y a la dificultad para imaginar una solución (relativamente) simple, decidí abandonar definitivamente el esquema de dirección diferencial a favor de una unidad electrónica servoactuada de dirección. Esto lo explicaré en detalle más adelante.

Es claro que varios vehículos que están disponibles actualmente (por ejemplo, desde algunas sillas de ruedas hasta el famoso segway, aunque no los AGV, que han mostrado un comportamiento nervioso) implementan la tecnología de dirección diferencial con gran eficiencia, pero en casi todos los casos se trata de vehículos que solo tienen dos ruedas motrices. ■■

Nota del editor.

El presente artículo continúa con una descripción detallada del sistema de control, así como de los drives, del comando, y de las cuestiones reglamentarias, entre otros aspectos de relevancia que fue necesario desarrollar para la versión final del ecoPT. La versión completa del artículo se puede leer y descargar en:

https://www.editores.com.ar/autor/luis_buresti/20210707_cronica_de_la_idea_desarrollo_y_construccion_de_un_vehiculo_electrico

iAPG

A AOG

XIII ARGENTINA OIL&GAS
EXPO 2021

Exposición Internacional del Petróleo y del Gas

22 - 25.11.2021

La Rural Predio Ferial
Buenos Aires, Argentina

www.aogexpo.com.ar

Organiza:



INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

Realiza:



messe frankfurt

Horario: Lunes a Jueves de 14 a 21 hs.

Comercializa y Realiza: Messe Frankfurt Argentina - Tel: + 54 11 4514 1400 - e-mail: aog@argentina.messefrankfurt.com

PRODUCTOS & INNOVACIONES



NEUMÁTICA
TRATAMIENTO DEL AIRE
PROCESOS
HANDLING Y VACÍO
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CAPACITACIÓN

