



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

BASES Y GUÍA PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE
PROCESOS EN LA INGENIERÍA INDUSTRIAL

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. DIEGO ALBERTO ZAVALA GALICIA

TUTOR PRINCIPAL
M.I. ARTURO FUENTES ZENÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

Noviembre 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: DR. GABRIEL D. SÁNCHEZ GUERRERO

Secretario: M.I. FRANCISCA IRENE SOLER ANGUIANO

Vocal: M.I. ARTURO FUENTES ZENÓN

1 er. Suplente: M.I. JOSÉ ANTONIO RIVERA COLMENERO

2 d o. Suplente: DR. MARIANO ANTONIO GRACÍA MARTÍNEZ

Lugar donde se realizó la tesis: Posgrado de ingeniería, UNAM

TUTOR DE TESIS:

M.I. ARTURO FUENTES ZENÓN

Dedicatorias y agradecimientos

Dedicó este trabajo a mi mamá Laura Galicia Meléndez, gracias por todo tu amor, apoyo, consejos y por muchas cosas más que me hicieron salir adelante y que me permitieron llegar a este nuevo punto de mi vida. Agradezco a Dios por ser tu hijo y que seas una mamá ejemplar. Te amo con todo mi corazón.

También dedicó este trabajo a mi abuelita Ruth Elma Meléndez Ramírez, por todo el amor, apoyo y cariño que me haz brindado desde el inicio y ser una abuelita extraordinaria y que siempre estaré agradecido por todo lo que me haz enseñado.

Dedicó este trabajo a mis tía(o)s: Ana, María Elena, Alejandro, David y Arturo; y también a mis primas, primos y sobrinos: Karlita, Nancy, Saúl, Kevin, Ian, Santi; gracias por todo su apoyo y siempre alentarme a seguir alcanzando mis metas, los amo muchísimo.

Agradezco a mi asesor de tesis M.I. Arturo Fuentes Zenón por todo su apoyo incondicional desde el inicio de la maestría, su dedicación, su guía, sus frases, los ánimos que me proporcionó y las alegrías que vivimos, jamás tendré como pagarle todo lo que hizo por mí y más que nada regresarme la confianza de creer en mí mismo.

Agradezco a los sinodales por su dedicación en la revisión de este trabajo.

A mis amigas Claudia, Anita, Leticia (Pulgis) y Kary por ser mi apoyo en este camino, agradezco todo su cariño y por los alientos de seguir adelante, las quiero muchísimo.

A mis amiga(o)s de AFG (mi maestra Chayo, Fer, Juan, Vale, Chan, Anita, Gris, Vic, Héctor, José, Leo, Laurita, Lucero) gracias por seguirme enseñando el valor de la amistad y sobre todo el hecho de nunca darme por vencido.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería, al Posgrado en Ingeniería y a la UNAM por el privilegio de volver haber formado parte de su alumnado.

Agradezco a CONACYT, por el apoyo económico recibido para la realización de estos estudios.

Índice

Resumen / Abstract	1
Capítulo 1. Introducción	
Problemática	2
Objetivo	2
Procedimiento a seguir	3
Contenido	3
Capítulo 2. Descripción de un proceso y la aplicación de la tecnología para su mejora	
2.1 Pluma de estacionamiento	5
2.2 Componentes básicos de una pluma de estacionamiento	10
Capítulo 3. Panorama general de la instrumentación	
3.1 Propiedades a considerar	15
3.2 Sensor	17
3.3 Acondicionamiento de la señal	21
3.4 Interfaz	22
3.5 Microprocesador y microcontrolador	22
3.6 Acondicionamiento de salida e interfaz	24
3.7 Actuador	24
3.8 Glosario	25
Capítulo 4. Propuesta de una metodología para la implementación de tecnología en un proceso	
Eta 1: Selección del proceso o subproceso de interés	26
Eta 2: Elaboración del mapa del proceso	28
Eta 3: Establecimiento de etapas y variables críticas	31
Eta 4: Identificación de alternativas para la instrumentación	32
Eta 5: Evaluación y selección	33
Eta 6: Planeación de la implantación y control	33

Índice

Capítulo 5: Casos de aplicación	
5.1 Caso 1 Empresa embotelladora	35
5.2 Caso 2 Walmart	42
5.3 Caso 3 Amazon Go®	45
Conclusiones	50
Bibliografía	51
Anexo	52

Resumen

El presente trabajo tiene como propósito el establecer una metodología que permita mejorar un proceso o subproceso de interés con la ayuda de los elementos de la instrumentación; además de establecer un puente de comunicación entre los conocimientos de los ingenieros industriales y electrónicos, de tal manera que se complementen. Para lograr dichos objetivos, se comienza explicando como una actividad cotidiana que es el levantamiento de una pluma de estacionamiento, se fue mejorado hasta llegar a lo que conocemos hoy en día, gracias a la incorporación de algunos elementos tecnológicos. Después se presenta al lector un panorama general de la instrumentación con la finalidad de que se familiarice con los términos y dispositivos que emplea esta disciplina. Finalmente, se propone la metodología que será utilizada para analizar algunos casos de aplicación.

Abstract

The purpose of this paper is to establish a methodology to improve a process or subprocess of interest with the help of the elements of the instrumentation; besides establishing a communication bridge between the knowledge of the industrial and electronic engineers, in such a way that they complement each other. To achieve these objectives, it begins by explaining how a daily activity that is the lifting of a parking pen, was improved to reach what we know today, thanks to the incorporation of some technological elements. Then the reader is presented with an overview of the instrumentation in order to familiarize himself with the terms and devices used by this discipline. Finally, the methodology that will be used to analyze some application cases is proposed.

Capítulo 1

Introducción

Problemática

En los enfoques de mejora de procesos (TQM, Lean manufacturing, six sigma, etc.) no se le presta la importancia que merece el tema de la instrumentación de procesos, siendo que su papel es fundamental. Así, a pesar de que existe un abundante material que trata sobre la instrumentación, no queda claro cómo o en qué se aprovecharía.

Por ejemplo, en la filosofía de trabajo del Lean Manufacturing se presenta una serie de técnicas para la mejora de los sistemas productivos, entre la que destaca el Jidoka, que es un término japonés para referirse a la automatización con un toque humano¹. Lo anterior consiste en que el propio proceso tenga su autocontrol, de tal forma que si existe una anomalía el proceso se detendrá de forma automática o de forma manual por el operario, impidiendo que la pieza defectuosa avance por las etapas del proceso (Hernández, 2013). A pesar de que este enfoque toma esta técnica para implementar la instrumentación en el proceso, no se detallan exactamente cuáles son los pasos que debe seguir una persona para poder aplicarla a un proceso de interés.

Debido a lo anterior, en este trabajo se pretende establecer una guía para que el responsable de la operación identifique las variables críticas, cómo se medirán y establezca comunicación con los expertos en tecnología, para definir como convendría instrumentar esos procesos.

Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una metodología que permita la implementación de la instrumentación en un proceso con la finalidad de mejorarlo o rediseñarlo.

A su vez, este trabajo busca ser un medio de comunicación para el ingeniero industrial que tiene conocimientos sobre los procesos pero no sabe como aplicar la instrumentación al proceso de interés, o bien para el ingeniero electrónico que tiene conocimientos en esta área pero no sobre los procesos.

¹ también llamado "autonomación"

Procedimiento a seguir

El punto de partida, desde el punto de vista de la metodología de investigación, está dado por la identificación de un problema consistente en la carencia en un vínculo entre el ingeniero industrial y el ingeniero en instrumentación.

Para llenar este vacío, se considera que lo más apropiado es hacer una revisión del procedimiento que sigue el ingeniero industrial en su trabajo regular para el análisis y mejora de procesos, y, por el otro lado, cómo se concibe un sistema de instrumentación desde el punto de vista de la ingeniería de control, para sobre esa base establecer y tratar con detalle los posibles puntos de conexión, con lo que se da forma a la guía para la instrumentación de procesos en la ingeniería industrial.

De acuerdo con lo anterior, la metodología que se emplea en este trabajo se considera como propia, ya que no se identifica con alguna propuesta que permita hacer este tipo de construcción.

Contenido

De esta manera, el punto de partida desde el punto de vista de la metodología del trabajo puede considerarse la identificación de un problema consistente en la carencia en un vínculo entre el ingeniero industrial y el ingeniero en instrumentación.

Para llenar este vacío se piensa que resultaría apropiado hacer una revisión del instrumental en el que se apoya el ingeniero industrial para su trabajo regular y por el otro lado como se concibe la instrumentación de un sistema electrónico de control, para sobre esa base establecer los puntos de conexión, que permitan dar forma a la guía para la instrumentación de procesos en la ingeniería industrial.

La metodología que se emplea en este trabajo es propia dado que no se cuenta con una metodología que permita hacer esta construcción.

En el capítulo dos se busca mostrar los elementos que se emplean en la instrumentación en un ejemplo que observamos en nuestra vida cotidiana, el funcionamiento de una pluma de estacionamiento. En este ejemplo, se presentarán los pasos de la operación de la pluma y cómo, gracias a la instrumentación, se emplearon ciertos elementos tecnológicos que permitieron que su operación fuera de forma autónoma.

En el capítulo tres, se mostrará un panorama de los elementos que integran a la instrumentación con la finalidad de poder vincularlos con los dispositivos que se emplean en esta rama de la electrónica. El capítulo comenzará definiendo qué tipos de propiedades tienen los cuerpos y cómo clasificarlos (propiedades cuantitativas y cualitativas), habiendo definido lo anterior, una de las metas de la instrumentación es poder realizar la medición de esas propiedades con un elemento tecnológico llamado sensor, el cual permitirá expresar esa propiedad en una señal (generalmente de tipo eléctrica) que viajará por medio de una interfaz hasta un elemento llamado procesador, que realizará las operaciones necesarias y tomará la decisión de qué acción se debe realizar con base en esa señal. Finalmente, la acción que decida este elemento tecnológico podrá ser realizada mediante otro dispositivo llamado actuador, el cual puede ser de diferentes tipos como es un motor, un pistón hidráulico, una señal luminosa, etcétera.

En el capítulo cuatro, se propone una metodología que le permita al lector tener las bases de cómo poder implementar los elementos expuestos en el capítulo tres en algún proceso de su interés. Esta metodología le permitirá seleccionar y mapear el proceso, a fin de identificar sus variables críticas y cómo medirlas con los dispositivos electrónicos (los cuales puede seleccionar el usuario o pedir la asesoría de expertos en el tema) y finalmente realizar el monitoreo y control del proceso.

En el capítulo cinco se exponen algunos casos de éxito que ilustran la aplicación de de la metodología propuesta.

Finalmente, se presentan las conclusiones obtenidas para este trabajo.

Capítulo 2

Descripción de un proceso y la aplicación de la tecnología para su mejora

En este capítulo se expone un ejemplo de una situación cotidiana, donde se señala cómo la instrumentación ha influenciado en su desarrollo y llegar a ser lo que conocemos. Este ejemplo es el funcionamiento de una pluma de estacionamiento. Es importante mencionar, que solo nos enfocaremos en la parte que comprende el acceso del usuario al estacionamiento.

2.1 Pluma de estacionamiento

Las plumas de estacionamiento que conocemos en la actualidad, son el resultado de la incorporación de diversos elementos tecnológicos durante varias de las etapas del proceso.

A continuación se menciona el funcionamiento de este y cómo fueron sus cambios debido a la incorporación de dichos elementos.

Al principio, las plumas de estacionamiento eran operadas de forma manual, un vigilante se encargaba de cuidar el acceso de vehículos a cierta calle o estacionamiento, como se puede observar en la figura.



Figura 1. Pluma de estacionamiento

Figura 1. Obtenida de:
<https://aviladorador.wordpress.com/2017/05/30/el-eterno-problema-de-los-fraccionamientos/>
Fecha de consulta: 16 de marzo de 2017

Cuando un vehículo se acerca a la pluma, el vigilante utiliza su vista para observar el coche y a sus ocupantes, esta información viaja hacia su cerebro donde se determina si el vehículo y sus ocupantes pueden tener acceso. Para que el vigilante tome la decisión mencionada, debe hacer una comparación de la información que obtuvo del entorno con sus recuerdos o una lista previa de las personas que pueden entrar.

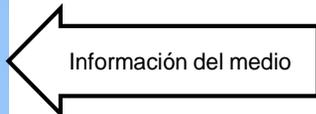


Figura 2. Medio y comparación de información

En la imagen anterior podemos ver como el vigilante se acerca al coche para obtener información, la cual será procesada por su cerebro y comparada con una lista de acceso.

Si la información con la que cuenta el vigilante coincide con la que obtuvo de las personas, les permitirá el acceso al lugar. En caso contrario, no lo hará.

Cuando el vigilante permite el paso del vehículo lo que hará será levantar manualmente la pluma de estacionamiento para permitir el paso del vehículo, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 3. Levantamiento de la pluma de estacionamiento (forma manual)

Figura 2. Obtenidas de:
<https://www.editorialmd.com/blog/funcionamiento-del-cerebro-en-el-aprendizaje>
<http://www.mccontrol.es/vigilancia-en-controles-de-acceso.asp>
Fecha de consulta: 17 de marzo de 2017

Figura 3. Obtenida de:
<http://www.directindustry.es/prod/cpe-ape/product-58851-382285.html>
Fecha de consulta: 16 de marzo de 2017

Estos son los pasos que se deben realizar para el funcionamiento de una pluma de estacionamiento, pero gracias a los avances tecnológicos se fueron incorporando elementos que permitieron una operación más sencilla.

Con la incorporación de la mecanización y la electrónica, la acción de levantar la pluma del estacionamiento por parte del operador se puede sustituir haciendo uso de un motor eléctrico, que se puede controlar mediante un interruptor desde la caseta de vigilancia.

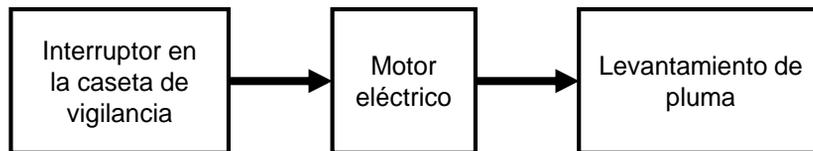


Figura 4. Secuencia del levantamiento de la pluma



Figura 5. Incorporación de la electrónica en la pluma

Sin embargo, aún es necesario que el vigilante esté presente para determinar si el coche puede acceder o no.

La función de identificación realizada por un vigilante, puede ser sustituida por otro elemento tecnológico que debe de cumplir con dos funciones:

- 1) Obtener la información con la que cuenta el ocupante del vehículo
- 2) Verificar si tiene o no acceso al lugar.

Figura 4. Elaboración propia

Figura 5. Obtenida de:

http://www.iqgroup.com.mx/acceso_vehicular/residencial_automatizado.asp

Fecha de consulta: 16 de marzo de 2017

Actualmente uno de los medios de identificación más utilizado es mediante el uso de tarjetas identificadoras.



Figura 6. Tarjeta identificadora

Cómo se describirá más adelante, esta tarjeta que se muestra en la figura 6, cuenta con la información necesaria para realizar la identificación del conductor, cumpliendo con la función número 1.

Para poder obtener la información de la tarjeta de identificación, se desarrolló un dispositivo que obtuviera dicha información de forma inalámbrica, que por el momento llamaremos receptor.

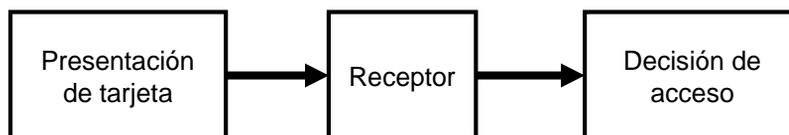


Figura 7. Dispositivo de recepción y secuencia de funcionamiento

Figura 6. Obtenida de:
<http://www.cerrajería-bogotá.com.co/control-de-acceso/>
Fecha de consulta: 19 de marzo de 2017

Figura 7. Obtenida de:
<http://www.cerrajería-bogotá.com.co/control-de-acceso/>
Elaboración propia
Fecha de consulta: 19 de marzo de 2017

El receptor cumple de cierta forma con la función que realizan los ojos del vigilante, la cual es obtener la información de su entorno.

Una vez obtenida esa información será enviada a otro dispositivo interno, llamado procesador, en donde se realizará la comparación de la información de la tarjeta con una base de datos, esto mismo es lo que sucede en el cerebro del vigilante.

Si la información dentro de la tarjeta coincide con la base de datos se permitirá el acceso al conductor.

Podemos unir los elementos tecnológicos mencionados de la siguiente forma:

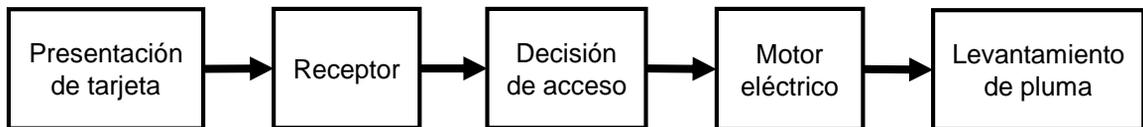


Figura 8. Secuencia de funcionamiento de la plan de estacionamiento

Como se logra observar en el diagrama, el receptor está a la espera de que un conductor presente su tarjeta de identificación, cuando esto sucede, este dispositivo realiza la comparación con la base de datos que se tiene y toma la decisión de permitir el acceso o no.

En caso de concederlo, activará el motor eléctrico con el cual se logra levantar la pluma del estacionamiento.

Podemos observar que durante este proceso, ya no fue necesaria la intervención del vigilante para realizar alguna acción. Por lo cual este proceso puede operar de forma autónoma, como lo vemos en la actualidad.

Los elementos descritos anteriormente en la pluma de estacionamiento se muestran en la siguiente figura.

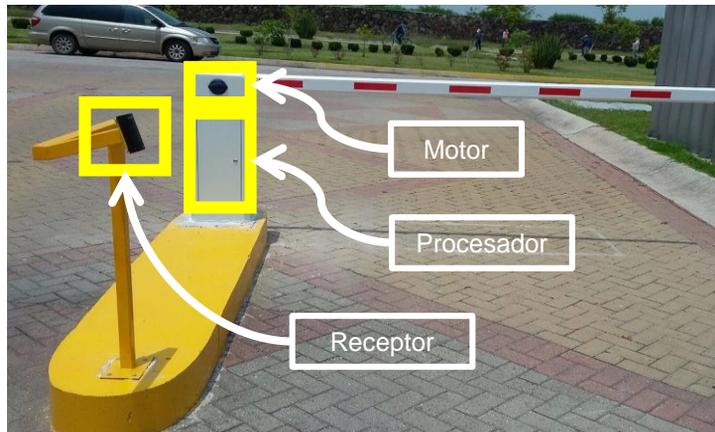


Figura 9. Ubicación de elementos tecnológicos en la pluma

2.2 Componentes básicos de una pluma de estacionamiento

En la sección anterior se describió brevemente el funcionamiento de una pluma de estacionamiento y cómo con la incorporación de elementos tecnológicos durante el proceso, ya no fue necesaria la intervención de una persona logrando que el sistema opere de forma autónoma.

Un proceso se define como: “una sucesión de actos o acciones realizados con cierto orden, que se dirigen a un punto o finalidad”.

Con base en la definición anterior, podemos observar que el funcionamiento de una pluma de estacionamiento es un proceso, debido a que se deben realizar una serie de pasos en un cierto orden con la finalidad de permitir o no el acceso de un vehículo.

Figura 9. Obtenida de:
<https://www.segundamano.mx/anuncios/jalisco/guadalajara/equipos-industriales/problemas-con-su-barrera-de-estacionamiento-910092405>
Fecha de consulta: 21 de marzo de 2017

En el siguiente diagrama se muestran los pasos mencionados anteriormente.

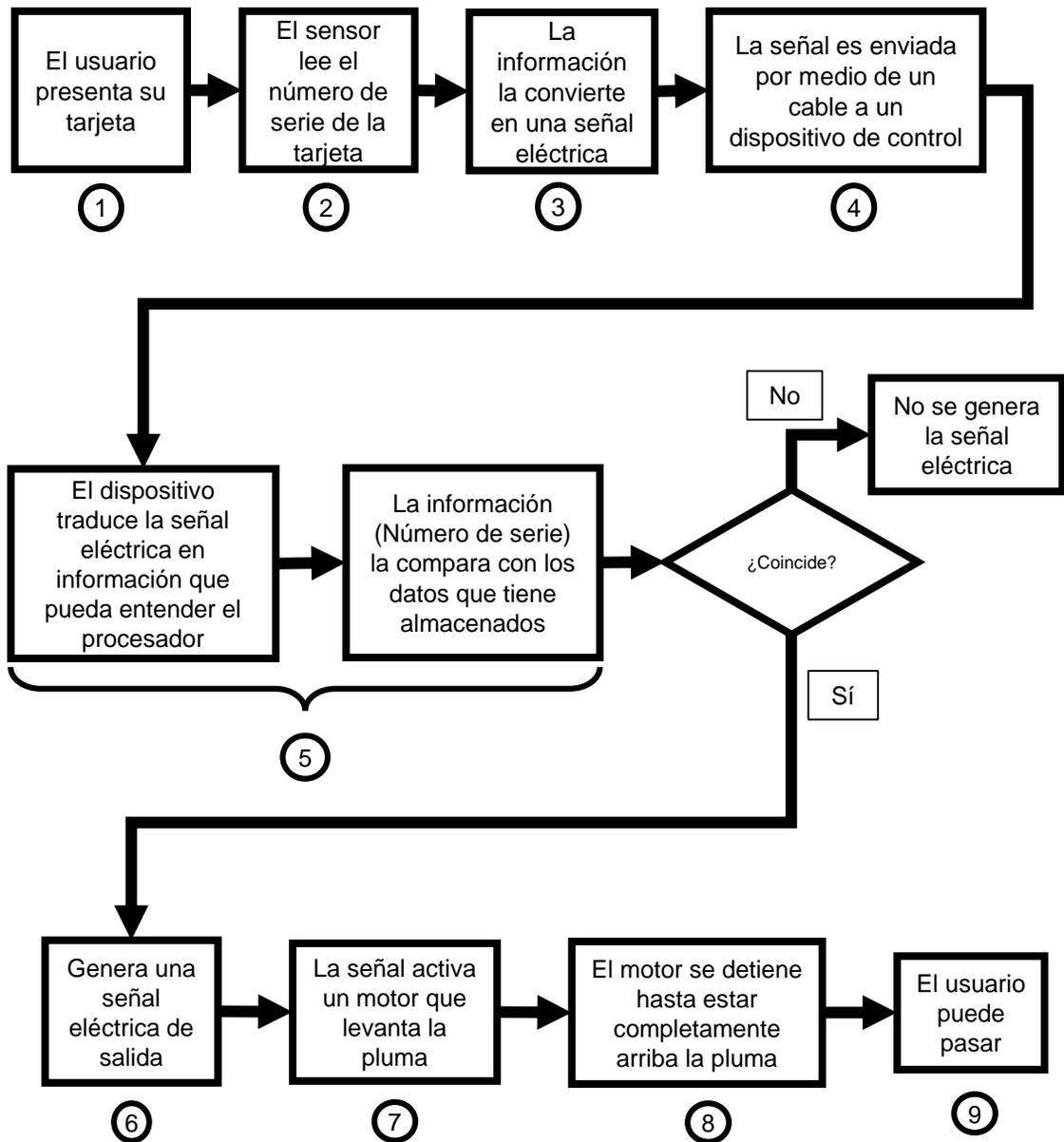


Figura 10. Diagrama de pasos del funcionamiento de la pluma

Figura 10.
Elaboración propia

En la figura 11 se muestra el esquema presentado anteriormente, pero ahora mencionando los nombres técnicos de los elementos que permiten el funcionamiento de la pluma.

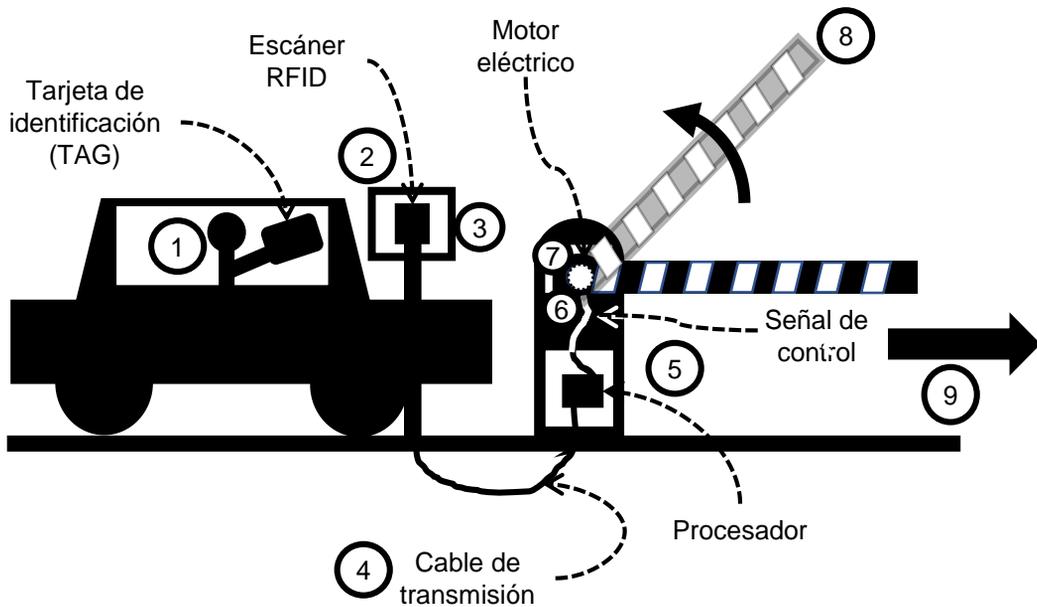


Figura 11. Diagrama esquemático del funcionamiento de la pluma

Los elementos presentados en la figura anterior son los siguientes:

Para comprender el funcionamiento de los primeros dos elementos es necesario mencionar qué es la tecnología RFID (Radio Frequency IDentification”) la cual permite la identificación de objetos de forma inalámbrica, sin necesidad de que exista entre el lector y el objeto contacto o línea de visión directa, requisito indispensable para otras tecnologías como la lectura láser de códigos de barras. (LIBERA, 2010)

La tarjeta de identificación o “TAG”

Consiste en una tarjeta que en el interior cuenta con una antena y un chip integrado que contiene el número de serie de la tarjeta.



Figura 12. Ejemplo de una tarjeta TAG

Las tarjetas TAG, se pueden clasificar por su tipo de alimentación (ACTUM, 2018):

Pasivas: sin alimentación propia sino que la obtienen de la señal de radio frecuencia emitida por el lector, de modo que tanto su alimentación como la comunicación con el lector se realiza con la señal recibida de éste.

Semi –pasivas: tienen una pequeña batería que alimenta su circuito integrado pero la comunicación de respuesta hacia el lector se hace con la misma señal de radiofrecuencia que le llega del lector.

Activas: Cuenta con una batería que no sólo les permite alimentar su circuitería interna sino que también refuerza la señal que le llega del lector permitiéndole alcances mayores en la comunicación de vuelta.

En el proceso mostrado anteriormente se considera que se hará uso de una tarjeta de identificación pasiva.

Escáner RFID:

También conocido como interrogador, cuya función es transmitir y recibir señales, de está manera convierte las ondas de radio en un formato legible por las computadoras. (LIBERA, 2010)



Figura 13. Ejemplo de un escáner RFID

Figura 12. Obtenida de:

<http://www.puntofotante.net/TARJETAS-TAGS-RFID-ISO-14443A-MFRC522.htm>

Fecha de consulta: 22 de abril de 2017

Figura 13. Obtenida de:

<http://www.barmax.com/Products.asp?CatID=383&IDM=275&SN=ATSRFID+Lectores+RFID+UHF>

Fecha de consulta: 22 de abril de 2017

Cable de transmisión:

Es por donde viaja la señal eléctrica en respuesta al escáner RFID, después de realizar la lectura del TAG.

Procesador:

Este dispositivo electrónico recibe la señal eléctrica que emite el escáner RFID, el cual viaja a través del cable de transmisión.

La importancia de recibir la señal eléctrica es porque en ella se encuentra la información del TAG que está presentando el usuario.

El procesador en su interior cuenta con una unidad de memoria, en donde almacena las instrucciones y acciones que debe realizar al recibir la información que contiene la señal eléctrica. Este verifica si la información del TAG está contenida dentro de su base de datos.

Señal de control:

Es la respuesta que genera el procesador después de determinar si la información del TAG está dentro de su base de datos. Dicha señal es de tipo eléctrico y viajará por medio de un cable hasta el motor.

Motor eléctrico:

Es un elemento que transforma la señal eléctrica, que emite el procesador, en energía mecánica, con la cual podrá levantar la pluma de estacionamiento.

Capítulo 3

Panorama general de la instrumentación

Anteriormente se describieron los elementos que intervienen en el funcionamiento de una pluma de estacionamiento, en este capítulo se tratarán con mayor detalle cada uno de los elementos que lo componen.

3.1 Propiedades a considerar

Existen propiedades que son de tipo cualitativas y cuantitativas. Las primeras se caracterizan por describir una propiedad de un cuerpo, por ejemplo su presencia, color, olor, etc., en cambio las segundas pueden medir esa característica del cuerpo. Desde hace mucho tiempo, el hombre ha tenido la necesidad de realizar mediciones de los fenómenos que suceden alrededor de él, como son la distancia de un punto a otro, el paso del tiempo, etc.

Las variables cuantitativas son aquellas que se pueden expresar de forma numérica y existe una escala de medición natural (0, 1, 2, ...) y las variables cualitativas son aquellas que se expresan en forma nominal (color, suciedad, etc.) u ordinal (bueno, regular, bajo, etc.). Es importante mencionar que estas últimas a menudo se les hace una correspondencia numérica (bueno = 10, regular=8, ...). (Fuentes, 2010)

Podemos observar que la tendencia de las variables cualitativas es poder expresarlas en forma numérica, ya que es una de las finalidades de la instrumentación, obtener una variable y poder expresarla en forma objetiva asignándole un número. Por ejemplo, si se quiere determinar la limpieza del agua en un tanque, podemos asignar una variable cualitativa al decir está limpia o sucia, pero para la instrumentación es necesario que se asigne un valor numérico para poder determinar esa cualidad.

El acto de medir consiste en comparar una propiedad de un objeto con la misma característica de otro objeto. Por ejemplo, si queremos medir la longitud de nuestra mano lo que haremos es comparar esa cualidad con la de otro objeto, como es el caso de una regla.

Debido a lo anterior, el hombre tuvo la necesidad de crear patrones de medida con los cuales pudiera darse un acuerdo común y que las medidas fueran realizadas mediante ese mismo patrón de medición.

En todos los procesos industriales aparecen propiedades que son importantes y en consecuencia es necesario medirlas. Estas propiedades podemos clasificarlas en físicas o químicas. Las propiedades físicas son aquellas que se pueden observar sin alterar la composición del cuerpo, en cambio, las químicas solo pueden ser observadas cuando existe un cambio en su composición. (Creus, 1998)

En la tabla 1 se mencionan algunos ejemplos de propiedades físicas y químicas

Propiedades físicas	Propiedades químicas
Longitud	Acidez
Masa	Corrosión
Peso	Combustión
Volumen	Toxicidad
Temperatura	Reactividad
Textura	Solubilidad
Color	
Fuerza	

Tabla 1. Ejemplos de propiedades físicas y químicas

Estas variables resultan ser importantes durante los procesos, por ejemplo, pensemos en el funcionamiento de un automóvil.

Cuando vamos conduciendo nos interesa poder conocer la velocidad que llevamos, el nivel del aceite, la cantidad de gasolina que tiene el tanque, los kilómetros que hemos recorrido, entre otras cosas.



Figura 14. Propiedades a medir en un automóvil

Tabla 1. Obtenida de:
CONSTAÍN ARAGÓN, Alfredo José y BERNAL ALZATE, Efraín (2012) Metodología básica de instrumentación industrial y electrónica, Universidad de La Salle, Bogotá

Figura 14. Obtenida de:
<https://www.logo-arte.com/ampliar/coche.htm>
Fecha de consulta: 22 de abril de 2017

3.2 Sensor

Para poder medir las variables mencionadas anteriormente podríamos hacer uso de los instrumentos que conocemos, sin embargo, sería peligroso hacerlo mientras conducimos, como es el caso de la medición de la distancia recorrida, donde tendríamos que detenernos a cada momento para poder medir con un flexómetro la distancia recorrida por el automóvil.



Figura 15. Flexómetro

Debido a lo anterior, fue necesario emplear elementos tecnológicos que nos permitieran realizar las mediciones de estas variables físicas y químicas durante los procesos.

Al igual que existen diversas variables que deseamos medir, también existen una diversidad de elementos tecnológicos que cumplen la función de medirlas. Consideremos la siguiente situación: Tenemos un tinaco y queremos medir el nivel del agua en su interior.



Figura 16. Medición del nivel de un tinaco

Para poder medir la altura o nivel del agua dentro del tinaco mencionaremos algunos elementos tecnológicos que podrían ser empleados.

Figura 15. Obtenida de:
<https://www.rubi.com/es/blog/flexometro-rubi/>
Fecha de consulta: 2 de mayo de 2017

Figura 16. Obtenida de:
<http://www.rigoindustrias.com/>
Fecha de consulta: 2 de mayo de 2017

- *Medidores de nivel directos*

Estos métodos, que pueden encontrarse en muchos procesos industriales, están basados en la observación de alguna escala graduada.

Como ejemplos tenemos varillas, varillas con ganchos, cristal. (Constaín, 2012)

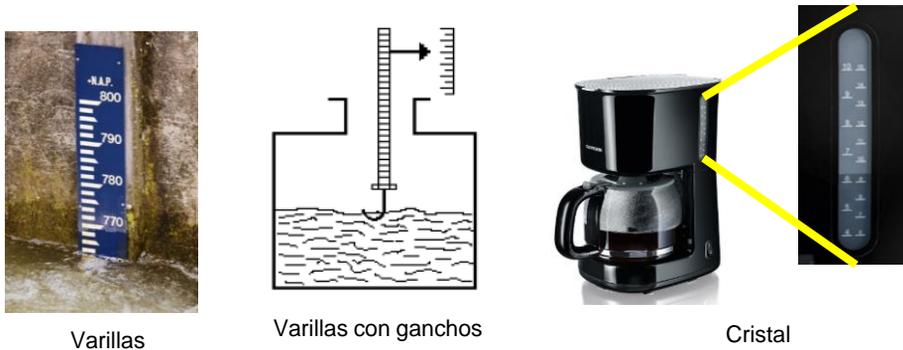


Figura 17. Ejemplos de medidores de nivel directos

- *Medidores de nivel tipo flotador*

Este medidor consiste en un flotador (un cuerpo que por sus características físicas se mantiene siempre en la superficie de un líquido, por lo que sube o baja dependiendo de los cambios en el nivel). El movimiento del flotador se transmite por diferentes mecanismos a un indicador, que dentro de una escala muestra el nivel del tanque.

Los medidores que utilizan este principio son: el de flotador de conexión directa, el de flotador con potenciómetro y el de flotador magnético. (Constaín, 2012)

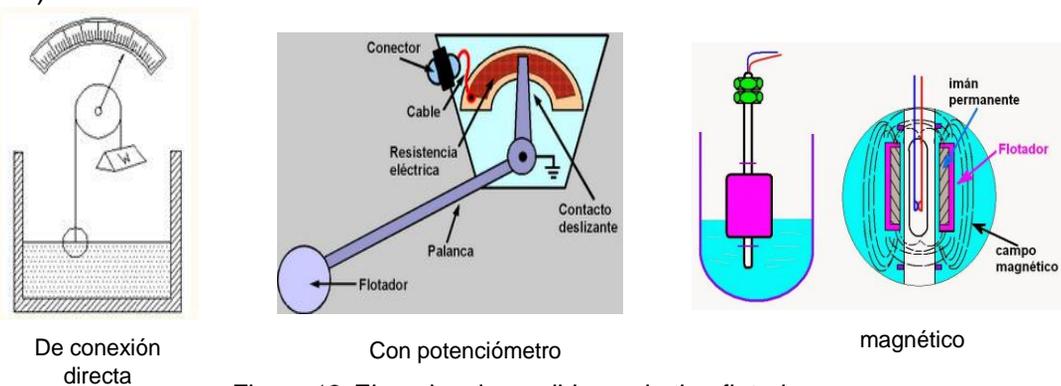


Figura 18. Ejemplos de medidores de tipo flotador

Figura 17. Obtenidas de:

<http://medirvariables.blogspot.com/2010/04/medicion-de-nivel.html>

http://neferpa.com/index.php?id_product=2099&controller=product

Fecha de consulta: 8 de mayo de 2017

Figura 18. Obtenidas de:

<http://instrumentacionindustrial2007-1.blogspot.com/2007/06/pre-laboratorio-3.html>

<http://www.sabelotodo.org/automovil/relojgasolina.html>

<https://coparoman.blogspot.com/2014/03/interruptores-de-nivel-tipo-flotador.html>

Fecha de consulta: 9 de mayo de 2017

- *Medidores de nivel por el principio de presión*

Para esto se emplea un tubo sumergido en un líquido a través del cual se aplica una presión constante de aire de valor conocido, para provocar burbujas. A mayor cantidad de líquido mayor será la presión de aire que se necesita para hacerlo burbujear; a menor nivel, menor presión. La presión necesaria para hacer burbujear el líquido es proporcional al nivel de éste.

Una desventaja de este sistema es que el aire o gas usado para provocar burbujas puede afectar el líquido; la ventaja es que sólo se sumerge un tubo y que puede utilizarse en líquidos corrosivos. (Rivera, 2007)

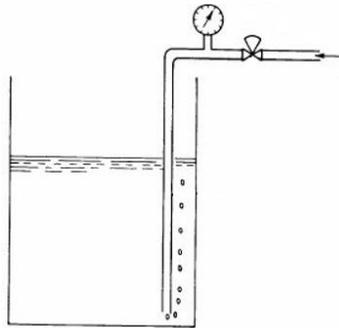


Figura 19. Ejemplo de medidor por el principio de presión

También se tiene elementos que permiten realizar la medición con base en las características eléctricas del líquido. Algunos ejemplos de ellos se presentan en la tabla 2.

Medidores	Función	Imagen
Conductivo	Consiste en uno o varios electrodos conectados en un circuito electrónico que detecta cuando el líquido los moja.	
Resistivo	Este sensor está formado por un elemento resistivo en forma de tira. Cuando el contenedor está vacío, el elemento presenta la máxima resistencia; pero al momento de que el nivel se incrementa provoca un cambio en su resistencia.	
Capacitivo	Se introducen dos cilindros concéntricos de material conductivo, aislados uno de otro, de tal manera que el líquido es el dieléctrico entre el capacitor formado por los dos cilindros. Si cambia el nivel del líquido, cambia la capacitancia del capacitor.	

Tabla 2. Ejemplos de medidores de tipo eléctrico

- *Medidores de nivel por ultrasonido*

Una versión de medidor de nivel ultrasónico es un arreglo del transmisor receptor montado en la parte superior del lugar donde se desea medir el nivel, conocido como eco. La señal transmitida viaja hacia abajo hasta la superficie del líquido, donde es reflejada hacia el receptor. Entonces el tiempo que tarda la señal entre la transmisión y recepción depende de la posición del sensor y el nivel del líquido; de esta manera dicho nivel puede medirse.

El método de ultrasonido es útil tanto en sólidos como en líquidos (Rivera, 2007).



Figura 21. Ejemplo de medidor por ultrasonido

Como podemos observar, existen diversas formas de realizar la medición del nivel del agua dentro de un tinaco o cualquier recipiente.

Figura 19. Obtenida de:

<http://instrumentacionunexpo.blogspot.com/2007/06/postlaboratorio-medicin-de-nivel-por.html>

Fecha de consulta: 12 de mayo de 2017

Tabla 2. Obtenida de:

RIVERA MEJÍA, José (2007) Instrumentación, Trillas, México

Figura 20. Obtenidas de:

http://www.electrolsrl.com.ar/control_calderas.php

<http://sensovant.com/productos/caudal-nivel-fluidos/sensores-Nivel-de-liquidos/sensores-capacitivos/articulo/sensor-de-nivel-capacitivo-liquidos-SerieR.html>

<http://www.eneka.com.uy/automatizacion/sensores-inductivos/6430-sensor-inductivo-12mm-pnp-nonc-detail.html>

Fecha de consulta: 14 de mayo de 2017

Figura 21. Obtenida de:

<http://www.telconet.cl/corp/es/integracion-logica-de-control-control-de-nivel/control-nivel/>

Fecha de consulta: 14 de mayo de 2017

3.3 Acondicionamiento de la señal

Ahora que el elemento tecnológico ha realizado la medición de la variable física deseada, como respuesta produce una señal, generalmente es de tipo eléctrico aunque también puede ser visual como se mencionó con el cristal para medir el agua de una cafetera.



Figura 22. Diagrama del acondicionamiento de la señal

La señal que produce el elemento (considerando que sea de tipo eléctrico) puede presentar características que la hagan incompatible para una etapa posterior, por ejemplo que sea muy pequeña, que presente interferencia, deba amplificarse, etc.

De acuerdo con Bolton, algunos procesos que se pueden presentar en el acondicionamiento de la señal pueden ser (Bolton, 2010):

- 1) Protección para evitar el daño al siguiente elemento
- 2) Convertir una señal en un tipo de señal adecuado
- 3) Obtención del nivel adecuado de la señal
- 4) Eliminación o reducción del ruido
- 5) Manipulación de la señal

Para solucionar este problema la electrónica ofrece circuitos integrados especiales que nos permiten acondicionar la señal eléctrica para que cumpla con las características necesarias para otras etapas.

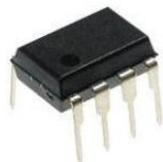


Figura 23. Circuito integrado para acondicionamiento de la señal

Figura 22:
Elaboración propia

Figura 23. Obtenidas de:
<https://www.cosasdeingenieria.com/esp/item/283/97/amplificador-de-instrumentacion-medica-ina126>
Fecha de consulta: 10 de junio de 2017

3.4 Interfaz

Cuando la señal que emite el elemento tecnológico ha sido acondicionada es necesario contar con un medio para poder transportarla a una etapa posterior, para ello utilizamos una interfaz.

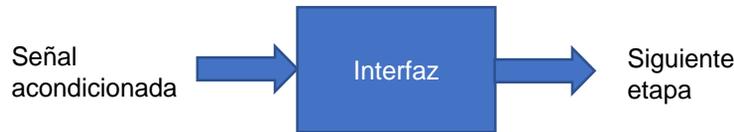


Figura 24. Diagrama de una interfaz

Esta interfaz por lo general es un cable conductor, debido a que la señal acondicionada sigue siendo de tipo eléctrica.

3.5 Microprocesador y microcontroladores

De acuerdo con Alciatore (2008), los circuitos digitales ofrecen una solución hardware para cumplir con una función predefinida de control, para esto se emplea una combinación de circuitos integrados, sin embargo, si se requiere hacer un cambio en la función habría que cambiar los circuitos integrados empleados. Debido a lo anterior, dentro del diseño digital se propone una solución a nivel software empleando el microprocesador. (Alciatore, 2008).

El microprocesador o también llamado Unidad Central de Procesamiento (CPU) es un chip con muchos circuitos digitales en donde se realizan operaciones aritméticas, lógicas, comunicación y control, dichas funciones las ejecuta mediante una serie de instrucciones, las cuales puede modificar el usuario, esto permite que se puedan realizar cambios en las funciones (a nivel software) sin alterar el hardware. (Constaín, 2012)

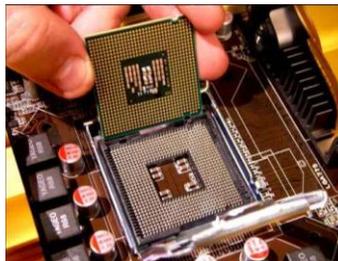


Figura 25. Microprocesador

Figura 24:
Elaboración propia

Figura 25. Obtenida de:
<https://sites.google.com/site/ensamblecomputador/conexion-de-los-componentes-a-lamotherboard-e-instalacion/instalar-el-microprocesador-y-ensamblar-un-disipador-de-calor-o-ventilador>
Fecha de consulta: 20 de julio de 2017

Al igual que la electrónica, los microprocesadores han tenido una evolución en curso en dos ramas, la primera apoya al CPU para la computadora personal y la industria de estaciones de trabajo, donde las principales restricciones con la alta velocidad y gran tamaño de palabra; y la segunda rama incluye el desarrollo del microcontrolador, que es un solo circuito integrado que contiene circuitos y funciones especializados aplicables al diseño de sistemas mecatrónicos (Alciatore, 2008). En la siguiente imagen se presentan dos ejemplos de microcontroladores en forma de circuitos integrados, tenemos a la izquierda el microcontrolador PIC de Microchip y a la derecha el microcontrolador de la línea Atmel.



Figura 26. Ejemplos de microcontroladores

Lo que ha permitido el desarrollo de los microcontroladores, de acuerdo con Alciatore son factores como su bajo costo, versatilidad, fácil programación y tamaño pequeño. (Alciatore, 2008).

El funcionamiento de un microcontrolador es semejante al de una computadora, ya que cuenta con hardware (elementos físicos) que le permiten recibir la señal de la interfaz y con elementos que contienen el software, que permiten realizar las operaciones lógicas y así tomar una decisión. Sin embargo, el microcontrolador puede realizar solamente una tarea para la cual fue programado, sí quisiéramos realizar tareas múltiples se puede realizar una red de estos elementos interconectados entre sí (Constaín, 2012).

Cuando el microcontrolador recibe la señal que viene de la interfaz, su lógica interna realiza las operaciones necesarias para tomar una decisión y cómo respuesta a esta decisión produce una señal de salida que es de tipo eléctrico.

Figura 26. Obtenidas de:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-969546771-microcontrolador-pic16c74b-04ip-dip40-microchip-_JM

https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-580490945-atmega328-microcontrolador-atmel-arduino-uno-con-bootloader-_JM

Fecha de consulta: 13 de agosto de 2017

3.6 Acondicionamiento de salida e interfaz

Una vez que el microprocesador o microcontrolador produce una señal de salida como respuesta a las instrucciones que tiene en su interior, esta deberá ser acondicionada mediante el uso de otro elemento tecnológico que permita emplear esta señal para la siguiente etapa. De igual forma, la señal acondicionada deberá viajar por una interfaz hasta la siguiente etapa (Bolton, 2010).

3.7 Actuador

Para realizar una acción, que puede ser un movimiento, una señal luminosa, un sonido, etc., se cuentan con otros elementos tecnológicos llamados actuadores, los cuales hay de diversos tipos como son: lámparas indicadoras, relevadores, motores de corriente directa y de corriente alterna, válvulas, motores de paso, pistones, etc. (Rivera, 2007).



Figura 27. Ejemplos de actuadores: motor de corriente directa, lámpara indicadora, válvula

Figura 27. Obtenidas de:

<https://www.ebay.com/p/LEESON-Electric-Motor-108265-00-C4d28fk11-1-5-HP-2500-RPM-180-Volt-VDC-DC/1640038885>

<http://blogs.eltiempo.com/todo-sobre-autos/2014/06/19/alerta-si-en-los-vehiculos-prende-de-manera-intermitente-la-luz-de-revisar-el-motor-o-check-engine/>

<http://rideoindustrial.com/lorem-ipsum-dolor-sit/>

Fecha de consulta: 28 de agosto de 2017

3.8 Glosario

A continuación se presenta un glosario con los términos más utilizados en la instrumentación:

- **Instrumentación:** Es el diseño y manejo de aparatos electrónicos para su uso en mediciones. (Alciatore, 2008)
- **Instrumento:** Dispositivo utilizado para medir y controlar una variable directa o indirectamente. (Rivera, 2007)
- **Sensor:** Dispositivo que se encarga de captar la magnitud física que se quiere medir y la transforman en un análogo eléctrico de voltaje o corriente. (Rivera, 2007)
- **Automatización:** Acto o método de hacer que un proceso funcione sin la necesidad de la intervención de un operador. (Alciatore, 2008)
- **Sistema de control:** Conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados teóricamente verdaderos. Las dos clases más comunes de sistemas de control son: sistemas de lazo abierto y sistemas de lazo cerrado. (Creus, 1998)
- **Sistema de lazo abierto:** La salida se genera dependiendo de la entrada. (Creus, 1998)
- **Sistema de lazo cerrado:** La salida depende de las consideraciones y correcciones realizadas por la retroalimentación. (Creus, 1998)
- **Controlador:** Dispositivo que tiene una salida que varía para regular una variable controlada de una manera específica. Un controlador automático varía su salida automáticamente, en respuesta a una entrada directa o indirecta de una variable de proceso medida. (Alciatore, 2008)
- **Robótica:** Técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales. (Alciatore, 2008)
- **Mecatrónica:** Es la combinación sinérgica de la ingeniería mecánica de precisión, de la electrónica, del control automático y de los sistemas para el diseño de productos y procesos. (Alciatore, 2008)

Capítulo 4

Propuesta de una metodología para la implementación de la instrumentación en un proceso

Hasta ahora hemos presentado la importancia de la instrumentación para la creación e implementación de dispositivos que nos permitan realizar mediciones durante los procesos.

Estos dispositivos conocidos como sensores, permiten convertir propiedades físicas (color, movimiento, longitud, etc.) o propiedades químicas (acidez, toxicidad, combustión, etc.) en su equivalente a una señal eléctrica.

A la señal generada por el sensor por lo general, se le realizan una serie de acondicionamientos, para posteriormente ser enviada por medio de una interfaz a otra etapa para su procesamiento.

El procesamiento de la señal se realiza en un dispositivo electrónico llamado microcontrolador, el cual cuenta con elementos físicos (hardware) para recibir la señal que genera el sensor y con base en la programación que tiene en su interior (software), es capaz de tomar decisiones y generar una señal de salida.

De igual forma esta señal de salida deberá ser acondicionada nuevamente y enviada a la siguiente etapa que es un actuador, el cual realizará una acción como es un movimiento, una señal luminosa o sonora, etc.

El objetivo del presente capítulo es proporcionar una metodología que le permita al lector de este trabajo la implementación de la instrumentación con la finalidad de mejorar una actividad o proceso en donde esté involucrado.

La metodología propuesta en este trabajo consiste en 6 etapas como se muestran en el siguiente figura 28.



Figura 28. Metodología propuesta

Etapa 1: Selección del proceso o subproceso de interés¹

En esta etapa se busca identificar el proceso o parte del mismo que se desea mejorar haciendo uso de la instrumentación.

Primero es importante definir lo que es un proceso, que es una sucesión de actos o acciones realizados con un cierto orden y que se dirigen hacia un punto o finalidad.

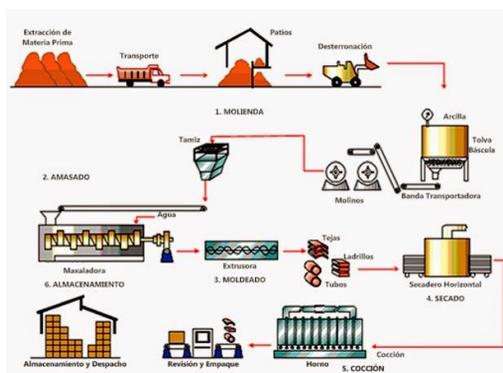


Figura 29. Diagrama de un proceso

Etapa 2: Elaboración del mapa del proceso

Un mapa de procesos nos permite visualizar el trabajo que se está realizando, lo cual permite una mejor comunicación, comprensión y proporciona un marco de referencia para aquellas personas que están involucradas con el proceso.

Gracias a que se puede visualizar de forma efectiva el proceso, esto le permite a las personas identificar las trayectorias reales o ideales revelando las áreas de riesgo, conexiones complicadas y sus potenciales soluciones.

El mapa del proceso proporciona un lenguaje común o punto de referencia cuando se está tratando con un proyecto o proceso, por lo cual permite que las personas identifiquen las relaciones y sus roles dentro de la organización, además que contribuye a orientar y capacitar a los nuevos empleados.

¹ Las definiciones de esta sección fueron obtenidas de los apuntes de Fuentes, 2017

Figura 29. Obtenida de:
https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-del-proceso-de-fabricacion-de-ladrillos-de-arcilla_fig1_268520958

Fecha de consulta: 2 de septiembre de 2017

El mapa del proceso nos da la posibilidad de poder crear manuales de capacitación sobre las políticas y procedimientos que se realizan en la organización.

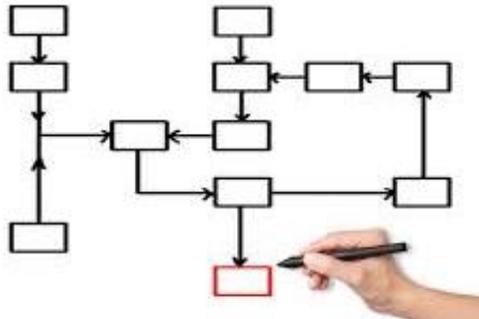


Figura 30. Diagrama de procesos

La elaboración de un mapa de procesos comienza desde un alto nivel llamado SIPOC, que es un mapa de procesos que identifica los proveedores, entradas, pasos del proceso, salidas y clientes involucrados en un proceso.

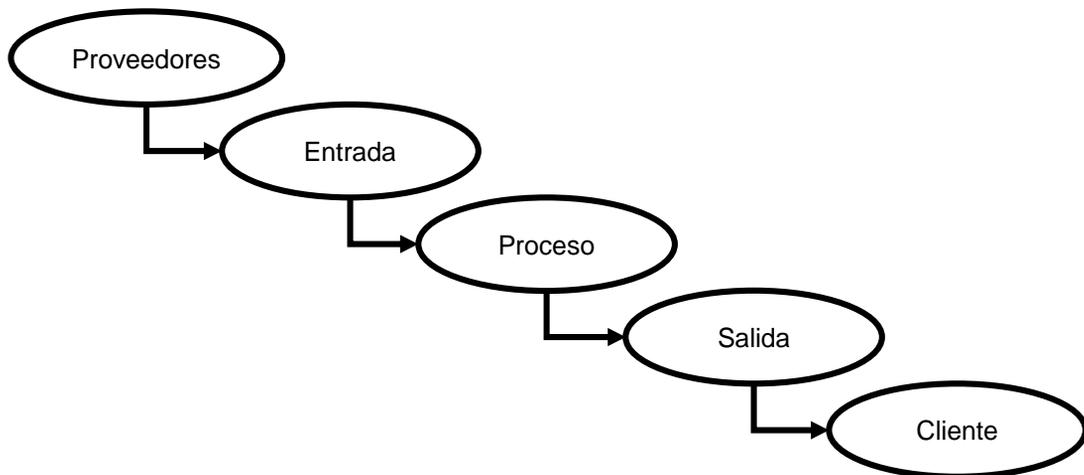


Figura 31. Diagrama SIPOC

Figura 30. Obtenida de:
<http://ppim.com.mx/gestion-de-procesos/analisis-de-procesos-de-negocios/>
Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2017

Figura 31. Obtenida de:
<https://goleansixsigma.com/sipoc/>
Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2017

El propósito de elaborar este tipo de mapa de proceso de alto nivel es para identificar las fronteras (inicio/final) y crear un entendimiento común acerca del proceso.

Ahora analizaremos cada una de las partes que componen el SIPOC:

- Proveedores: Proveen los recursos necesarios para el funcionamiento de la organización.
- Entrada: Son los recursos necesarios para el desarrollo del proceso.
- Proceso: Es la descripción de la actividad que realiza la organización, en la cual se deben tener claro sus requerimientos y sus límites.
- Salida: Es la salida que se obtiene del proceso.
- Cliente: Es a quien están dirigidas las salidas que se obtuvieron durante el proceso.

Después de analizar el SIPOC, nos enfocaremos en la parte del proceso que se realiza en la organización.

Como podemos observar en la siguiente figura, el proceso puede estar también compuesto por una serie de pasos para realizar su objetivo y, si es necesario, el desarrollador puede detallar aún más cada una de las etapas que se realizan. (Fuentes, 2001)

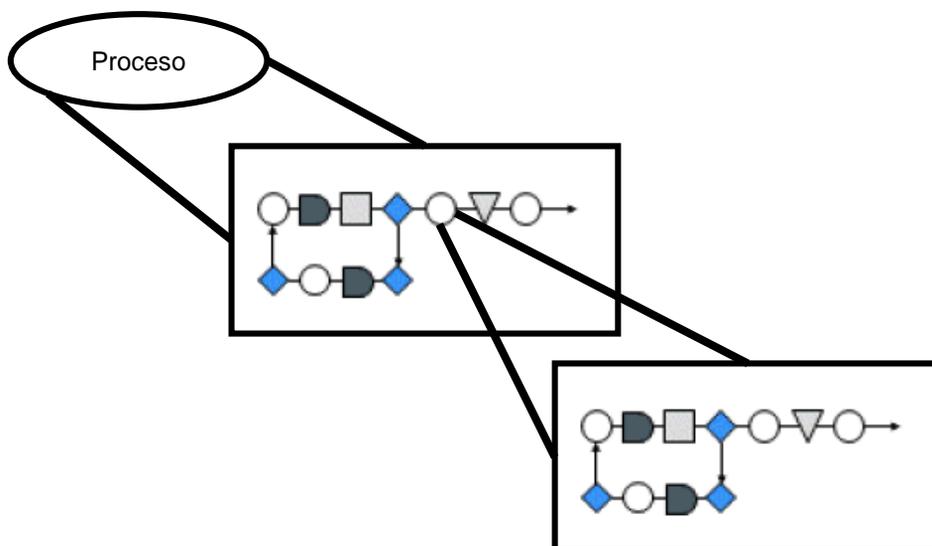


Figura 32. Niveles del diagrama de procesos

Figura 32. Obtenida de:
<https://www.monografias.com/trabajos56/gestion-basada-en-procesos/gestion-basada-en-procesos2.shtml>
Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2017

A continuación se muestra una serie de pasos para realizar el SIPOC:

- 1) Identificar los principales resultados de la organización (salidas)
- 2) Identificar a los clientes inmediatos (internos o externos)
- 3) Identificar los principales insumos que requiere el proceso para producir cada uno de los resultados
- 4) Identificar la procedencia de los insumos (suministradores)
- 5) Identificar las principales etapas del proceso (subproceso)

Algunas recomendaciones para hacer el mapa del proceso son:

- Definir claramente los límites del proceso
- Usar verbos para describir los pasos
- No incluir “quien” en la descripción de los pasos
- Se puede combinar para que los pasos queden claros
- Analizar – revisar desde la parte final hasta el inicio del proceso
- Es recomendable que el mapa del proceso se haga en equipo (multidisciplinario), involucrando a las partes interesadas
- Revisar repetidamente el camino del proceso

Etapas 3: Establecimiento de etapas y variables críticas

Una vez identificado el proceso y sus etapas, en esta se busca identificar las áreas en donde se puede implementar la instrumentación para mejorarlo. Para realizar lo anterior es necesario que en la etapa de interés se haya identificado la variable crítica (ya sea física o química) que se desea medir y controlar, ya que esto definirá el diseño que se debe implementar.

Al identificar la variable crítica es importante considerar las características que se presentan en la tabla 3.

Característica	Definición
Rango	Es el valor mínimo a máximo que se puede medir
Precisión	Es la diferencia entre la medición de un valor verdadero y uno real. El error de precisión se puede mejorar mediante la calibración del sensor
Sensibilidad	Es la relación entre las medidas de entrada y salida del sensor
Resolución	Es el cambio más pequeño en el valor de entrada que producirá un cambio observable en la salida
Repetitividad	Es el error en el valor de salida para la misma aplicación con un mismo valor de entrada
Estabilidad	Es la variación de la salida con respecto del tiempo, cuando la magnitud de entrada no cambia

Tabla 3. Características de la variable crítica

Etapas 4: Identificación de alternativas para la instrumentación

Una vez identificada la variable crítica de la etapa del proceso que se desea medir y controlar, es necesario considerar las opciones que se encuentran en el mercado para realizar la medición de esa variable.

A continuación se presenta la siguiente tabla donde se muestran las variables más comunes que se miden en los procesos industriales y algunos elementos tecnológicos (sensores) que permiten su medición.

Variable a medir	Opciones de sensores para realizar la medición
Temperatura	Termopar, transistor, dispositivos infrarrojos, etc.
Posición	Ponteciómentros lineales y rotacionales, encoders (absolutos e incrementales)
Velocidad	Acelerómetros, piezoeléctricos, etc.
Proximidad	Inductancia, fotoeléctricos, capacitancia, efecto Hall, etc.
Luminosidad	Fotodiodos, fototransistores, captura digital de imágenes, etc.
Infrarrojos	Fototransistores, fotodiodos, CCD, etc.
Fuerza, par y presión	Galgas, cargas de celda, piezoeléctricos, piesoresistivos, etc.

Tabla 4. Ejemplos de sensores para medir diversas variables

Tabla 3. Obtenida de:
CONSTAÍN ARAGÓN, Alfredo José y BERNAL ALZATE, Efraín (2012) Metodología básica de instrumentación industrial y electrónica, Universidad de La Salle, Bogotá

Tabla 4. Obtenida de:
CONSTAÍN ARAGÓN, Alfredo José y BERNAL ALZATE, Efraín (2012) Metodología básica de instrumentación industrial y electrónica, Universidad de La Salle, Bogotá

Etapa 5: Evaluación y selección

Es importante mencionar que para esta etapa de la metodología, la persona que está buscando implementar estos elementos tecnológicos en su proceso de interés, debe ser consciente de que existen compañías o expertos en esta área de la electrónica a los cuales se puede acercarse, ya sea para aclarar alguna inquietud o que sea orientado a otras opciones que no se habían contemplado.

Un ejemplo de compañía que se encarga de apoyar a las empresas en ese aspecto es G.I. EICOM, el cual ofrece un equipo de trabajo que se acerca a los clientes para evaluar su situación y buscar la mejor alternativa para las necesidades de su organización (G.I. EICOM, 2017).



Figura 33. Algunas implementaciones de G.I. EICOM

Etapa 6: Planeación de la implantación y control

Habiendo seleccionado la mejor alternativa para la medición de la variable crítica, esta se implementará en la etapa del proceso correspondiente. Esta tarea puede ser llevada a cabo por un experto en el área, que realice la implementación de la electrónica necesaria para realizar el monitoreo de la variable (acondicionamiento de la señal del sensor seleccionado, interfaces y microcontroladores), al igual que la implementación de las acciones de salida que se deberán realizar cuando la variable física cumpla con un valor determinado (implementación de un actuador).

Figura 33. Obtenida de:
G.I. EICOM (2017) Soluciones de automatización para fin de línea, G.I. EICOM, México
Fecha de consulta: 13 de septiembre de 2017

Habiendo realizado la implementación de los equipos necesarios, se procederá a realizar el monitoreo y control de la variable crítica durante el proceso, observando si el sensor seleccionado está realizando de forma correcta su función y mande la señal electrónica al procesador asignado para la tarea y que éste último indique la acción de salida necesaria para el control de la variable.

Al observar las mejoras en el proceso con los elementos utilizados, ahora la persona encargada solo cumplirá con la función de vigilancia, en caso de suscitarse algún problema imprevisto durante la operación.

Dentro de los enfoques de mejora de procesos se encuentra el Lean Manufacturing que utiliza la técnica llamada "Jidoka", término japonés que significa automatización con un toque humano (autonomación). Sin embargo, este término no debe confundirse con la definición de automatización, ya que bajo la perspectiva Lean, el objetivo es que el proceso tenga su propio autocontrol de calidad, de forma que, si existe una anomalía durante el proceso, este se detendrá, ya sea de automática o manualmente por el operario. En el libro de Hernández Matías, aparece una tabla, que se encuentra en el anexo de este trabajo, en donde se muestran los pasos progresivos y técnicas que se pueden ir aplicando para alcanzar una autonomación completa en las máquinas. Se observa que conforme se va avanzando en las etapas de la autonomación de un proceso, las tareas del operario van disminuyendo a diferencia de las tareas de la máquina que van aumentando, llegando a un punto donde el operario solo está como supervisor del proceso y sí es necesario interviene para corregir la falla. (Hernández, 2013)

Capítulo 5

Casos de aplicación

En este capítulo se exponen algunos casos de aplicación en donde algunas empresas, emplearon la instrumentación para poder mejorar una parte de su proceso.

5.1 Caso 1

Empresa embotelladora

En este caso se presentan las aplicaciones que tiene la instrumentación en el proceso de la empresa cervecera hondureña CHSA, se deja el enlace para observar el video:

https://www.youtube.com/watch?v=_NEwtma3k9Y&t=10s&index=3&list=LL_wBvshFSEyxw0qHnyHtezg

Etapas 1: Selección del proceso o subproceso de interés

El proceso de interés es el de llenado y empaquetado de las botellas dentro de la empresa cervecera.

Etapas 2: Etapas del proceso

El proceso que se realiza en la empresa consta de las siguientes etapas:

- 1) Descarga de las tarimas a la línea de producción
- 2) Las botellas vacías pasan a la línea de producción
- 3) La desempacadora toma las botellas y las coloca en la transportadora
- 4) La transportadora lleva las botellas al proceso de lavado
- 5) Las botellas lavadas son enviadas a las llenadoras
- 6) Se realiza el taponado o coronado de las botellas
- 7) Las botellas llenas pasan al proceso de codificación, en donde se les coloca una escritura del lote de producción y fecha de vencimiento

- 8) Las botellas pasan al proceso de pasteurización, para eliminar bacterias nocivas a la salud
- 9) Las botellas pasan al proceso de etiquetado
- 10) La línea de producción lleva las botellas a un empacador automático que la coloca en cajas
- 11) Las cajas con las botellas son paletizadas y colocadas en las tarimas.

Etapa 3: Establecimiento de etapas y variables críticas

En el mapa de proceso que se describió en la etapa 2, se identifican tres áreas en donde se puede implementar la instrumentación para asegurar la calidad de la botellas.

La primer área de oportunidad es cuando las botellas salen del proceso de lavado y se dirigen a la etapa de llenado, aquí las variables críticas son:

- Objetos extraños en le fondo de la botella
- Objetos extraños en la pared interna de la botellas
- Labio astillado
- Líquido residual
- Botella baja



Figura 34. Primera área de oportunidad en el proceso

La segunda área de oportunidad es cuando las botellas salen del proceso llenado y se llevan a la codificación, en esta parte las variables críticas son:

- Nivel de llenado
- Sellado de la botella



Figura 35. Segunda área de oportunidad en el proceso

Figura 34:
Elaboración propia

Figura 35:
Elaboración propia

Finalmente, se identifica una tercera área de oportunidad que es durante el empaquetado de las botellas que serán paletizadas, aquí las variables críticas son:

- Botellas no taponadas o coronadas
- Faltantes en las cajas



Figura 36. Tercera área de oportunidad en el proceso

Etapa 4: Identificación de alternativas para la instrumentación

Una vez identificadas las áreas y variables críticas del proceso de embotellado, es momento de analizar las alternativas de dispositivos que ofrece la instrumentación para cumplir con el control de las variables críticas, de tal forma que la posibilidad de falla sea limitada.

En la primer área de oportunidad, la variable que se desea medir es la luminosidad en las botellas, ya que en al presentarse un objeto o líquido en la botella, ocasionaría un cambio en esta variable. Como opciones que puede emplear la empresa se tienen fotodiodos, fototransistores, captura digital de imágenes.



Figura 37. Ejemplos de sensores de luminosidad: Fototransistor y cámara digital de imágenes

Figura 36:
Elaboración propia

Figura 37. Obtenidas de:
<https://www.ecured.cu/Fototransistor>
http://www.insatecsl.com/camaras_alta_velocidad_S_motion.htm
Fecha de consulta: 10 de octubre de 2017

Para la segunda área identificada, la variable que se desea medir es nivel de líquido dentro de las botellas o también que tengan o no la corona. La opción que tiene la empresa para determinar el nivel de las botellas es hacer uso de sensores de nivel de tipo capacitivo y para determinar si cuentan o no con corona se puede hacer uso de un sensor de presencia.



Figura 38. Sensor capacitivo y sensor de presencia (infrarrojo)

En la última área, se tienen como opciones a los sensores de contacto o también a los sensores de luminosidad.



Figura 39. Sensor de contacto

Etapa 5: Evaluación y selección

Una vez que se proponen las alternativas para la medición de las variables críticas en cada etapa del proceso, la empresa consideró utilizar en la primer área una cámara digital, para la segunda área se utilizó un sensor capacitivo y el la última área se empleó un sensor de contacto. Es importante mencionar que, para esta etapa, la empresa puede solicitar asesoría de un distribuidor, con la finalidad de poder seleccionar el mejor modelo y marca de sensor para la tarea establecida.

Figura 38. Obtenidas de:

http://www.automaqperu.com/productos.php?ic=2&c=automatizacion&isc=133&sc=sensor_capacitivo

<http://www.electronicaestudio.com/i/f/SHT-015.jpg>

Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017

Figura 39. Obtenida de:

<http://campus.ort.edu.ar/articulo/397712/sensores-de-contacto>

Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017

Etapa 6: Planeación de la implantación y control

Habiendo seleccionado el mejor sensor para realizar la medición de las variables críticas mencionadas, se procede a su implementación en el proceso, de igual forma esto puede ser realizado por la misma empresa que ofreció su asesoría para la selección o bien puede realizarlo la misma empresa.

A continuación, se presentan las imágenes donde se puede observar la implementación de los sensores para la línea de producción de la cervecería.

Para la primera área se seleccionó una cámara digital de imágenes, la cual se presenta en la figura 40, en donde podemos observar como la cámara hace una toma de la botella y con base en su programación (microprocesador) inspecciona y determina si esta cumple con los parámetros establecido. Cuando este dispositivo detecte una anomalía en la botella emite una señal que le indica al operador, qué botella no cumplió con los estándares requeridos y debe ser retirará de la línea antes de pasar a la etapa de llenado.



Figura 40. Cámara digital inspecciona cada botella

Figura 40. Obtenidas de:

https://www.youtube.com/watch?v=_NEwtma3k9Y&t=10s&index=3&list=LL_wBvshFSEyxw0qHnyHtezg

Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017

Para la segunda área, se seleccionó e implementaron dos sensores: un sensor capacitivo y un sensor de presencia, que permita medir el nivel del líquido en el interior de la botella y si la botella tiene su tapa, respectivamente. Cuando el sensor detecta que la botella no fue llenada al nivel establecido o no fue coronada, emite una señal que es recibida por un microprocesador, el cual determina que la botella debe salir de la línea de producción, en consecuencia este emite una señal que llega a un actuador (pistón) que retira la botella. La secuencia de estos pasos se pueden observar en la figura 41.



Figura 41. Secuencia de imágenes del proceso instrumentado de la segunda área: (a) El sensor capacitivo detecta el nivel del líquido dentro y si cuenta con corona la botella, (b) detección de una botella que no cumple con el nivel de líquido, y (c) retiro de la botella de la línea de producción mediante un pistón.

Figura 41. Obtenidas de:

https://www.youtube.com/watch?v=_NEwtma3k9Y&t=10s&index=3&list=LL_wBvshFSEyxw0qHnyHtezg

Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017

Para la tercer área, se implementaron sensores de contacto en la empacadora automática, para que al momento de tomar las botellas y las coloque en las cajas contenedoras, determine si hay o no una botella. De forma similar que en la segunda área, la información será procesada por un microprocesador y el tomará la decisión de sí la caja se dirige al paletizado o cambia su dirección en la línea, para que llegue a un punto donde un operador pueda llenar la caja manualmente



Figura 42. Empacadora automática y cajas contenedoras que se dirigen al paletizado o completar los faltantes

Figura 42. Obtenidas de:
https://www.youtube.com/watch?v=_NEwtma3k9Y&t=10s&index=3&list=LL_wBvshFSEyxw0qHnyHtezg
Fecha de consulta: 11 de octubre de 2017

5.2 Caso 2

Walmart

En este caso se analizará como interviene la instrumentación en el centro de distribución de esta empresa, ubicada en Villahermosa, se deja el enlace para observar el vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=Ghtd3FLEDiQ>

Etapa 1: Selección del proceso o subproceso de interés

El proceso de interés que se considera para este caso es desde que la caja con mercancía es colocada en la línea de transporte hasta que llega a la zona de paletizado.

Etapa 2: Etapas del proceso

A continuación se mencionan los pasos que se siguen durante este proceso:

- 1) El trabajador coloca la mercancía dentro de una caja
- 2) La caja se cierra y se le coloca un código de barras en donde se incluye el contenido y hacia que zona de paletizado debe dirigirse
- 3) La caja se coloca en la banda transportadora
- 4) Durante su desplazamiento, se lee el código de barras de la caja
- 5) La caja es empujada hacia otra banda transportadora
- 6) La caja llega a la zona de paletizado para ser colocado en las tarimas.

Etapa 3: Establecimiento de etapas y variables críticas

La variable crítica en este proceso corresponde a la lectora del código de barras que tiene la caja mientras está en movimiento sobre la banda transportadora.

Etapa 4: Identificación de alternativas para la instrumentación

Debido a que la variable crítica es un código de barras, la única alternativa para poder medirla es haciendo uso de un lector de códigos de barras, como el que se muestra en la figura.



Figura 43. Lector de códigos de barra

Etapa 5: Evaluación y selección

De igual forma la empresa puede solicitar la asesoría de expertos en este campo para determinar que lector es el mejor para sus necesidades.

Etapa 6: Planeación de la implantación y control

Habiendo seleccionado cual es el mejor lector para la empresa se procede a su implementación. En este caso, el dispositivo debe ser colocado sobre la banda transportadora, de tal forma que pueda visualizar el código de cualquier caja a su paso.



Figura 44. Lector de códigos de barra de la banda transportadora

Una vez que se ha realizado la lectura, la señal es recibida por un microprocesador o una computadora, la cual tomará la decisión de en qué momento debe desviar la caja hacia otra banda transportadora.

La acción de mover la caja hacia otra banda transportadora, será realizada mediante actuadores llamados “shoe sorters” que se encuentran sobre la misma, cuando se sistema de control determina que la caja está próxima a la salida deseada, manda una señal que acciona estas zapatas, desviando a la caja hacia una nueva trayectoria. (Bastian solutions, 2017)



Figura 45. Cajas desviadas mediante “shoe sorters”

Figura 43. Obtenida de:

<https://www.logismarket.com.ar/grupo-hasar/lectores-de-codigo-de-barras-manuales/1822564513-1179610379-p.html>

Fecha de consulta: 27 de octubre de 2017

Figura 44. Obtenida de:

<https://www.youtube.com/watch?v=Ghtd3FLEDiQ>

Fecha de consulta: 27 de octubre de 2017

Figura 45. Obtenida de:

<https://www.youtube.com/watch?v=Ghtd3FLEDiQ>

Fecha de consulta: 27 de octubre de 2017

5.3 Caso 3

Amazon Go®

En este caso se analizará como interviene la instrumentación para pasar de una tienda convencional a la tienda de Amazon Go®, se deja el enlace para observar el vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=G2rhuXR19UA>

Etapa 1: Selección del proceso o subproceso de interés

El proceso de interés que se considera para este caso, es la adquisición y cobro de los artículos seleccionados por el usuario dentro de una tienda convencional.

Etapa 2: Etapas del proceso

A continuación se mencionan los pasos que se siguen durante este proceso:

- 1) El usuario que se encuentra en la tienda, toma de algún aparador los artículos que el desea.
- 2) Cuando el usuario ha terminado, se debe dirigir a alguna de las cajas que se encuentran en la tienda
- 3) El usuario debe esperar su turno para pasar con el cajero en caso de haber gente delante de él
- 4) Cuando es su turno, el usuario coloca los artículos que seleccionó para que el cajero tome cada uno y los marca en su caja registradora.
- 5) Habiendo registrado todos los artículos del usuario, el cajero le indica cuánto es el importe que debe de pagar.
- 6) El usuario paga el importe, toma sus artículos y sale de la tienda.

Etapa 3: Establecimiento de etapas y variables críticas

La variable crítica de este proceso corresponde a la identificación de los artículos seleccionados por el usuario, que a su vez también determinarán el precio a pagar por él mismo cuando salga de la tienda con los artículos.

Etapa 4: Identificación de alternativas para la instrumentación

Debido a que la variable crítica es poder identificar el objeto que fue seleccionado por el usuario, la instrumentación ofrece las siguientes alternativas de dispositivos para lograr dicho objetivo.

La primera opción sería hacer uso de cámaras de visión, ya que con ellas se podrá mantener una vigilancia de los objetos en el estante y observar cuál es tomado por el usuario.



Figura 46. Cámara de visión

Otra opción es hacer uso de sensores de contacto, para determinar si se encuentra o no un producto en su posición establecida, para ello existen diversas opciones como son: mecánicos, ultrasónicos, inductivos, capacitivos o fotoeléctricos, como se muestran en la siguiente figura.



Figura 47. Sensores de contacto

Figura 46. Obtenida de: <http://www.contaval.es/products-page/deteccion/camaras-monocromaticas/>. Fecha de consulta: 14 de abril de 2018

Figura 47. Obtenida de: <http://automatizacionindustrial901755.blogspot.com/2016/08/transductores-sensores-y-actuadores.html>. Fecha de consulta: 19 de abril de 2018

También se pueden utilizar sensores de presión para poder determinar el peso del artículo seleccionado por el usuario.



Figura 48. Sensores de presión

Etapa 5: Evaluación y selección

Teniendo en cuenta las opciones que ofrece la instrumentación para poder tener el control de la variable crítica, la empresa de Amazon decidió hacer uso de dos de las opciones presentadas anteriormente: cámaras de visión y de sensores de peso. Como se ha mencionado en los casos anteriores, para esta etapa se puede solicitar la consulta de los distribuidores para poder seleccionar la opción que tenga los mejores resultados.

Etapa 6: Planeación de la implantación y control

Como se mencionó anteriormente, la tienda Amazon Go® empleó los sensores que fueron propuestos en la etapa 4, a continuación se detallarán más las funciones que cumplen cada uno de ellos y cómo estos ocasionaron una mejora en comparación a una tienda convencional.

*Figura 48. Obtenida de: http://www.sensores-de-medida.es/sensing_sl/SENSORES-Y-TRANSDUCTORES_35/Sensores-de-presi%C3%B3n_107/Sensores-de-presi%C3%B3n-miniatura_109/.
Fecha de consulta: 20 de abril de 2018*

En primer lugar contamos con las cámaras de visión, las cuales están repartidas por todo el techo del establecimiento y cuya función es observar los movimientos del usuario en la tienda y también si ha tomado un artículo de algún estante.



Figura 49. Cámaras de visión utilizadas por Amazon Go®

También se hace uso de sensores de peso para determinar el peso de algún producto tomado por el usuario, esto debido a que el cobro se puede hacer con base en esa característica.

Las señales de salida que proporcionan estos dispositivos tecnológicos son recibidos por una computadora, la cual contiene la lógica para poder determinar la identificación del producto seleccionado y al hacer esto la misma computadora puede establecer el monto que debe pagar el usuario. Esto beneficia en el hecho de que ya no es necesario que el usuario tenga que ir a una caja ha realizar el marcado y pago de sus productos, eliminando las filas en la tienda y permitiendo al usuario salir inmediatamente de la tienda con sus productos en mano. Por lo anterior es que esta tienda estadounidense es muy popular.



Figura 50. Diferencias entre una tienda convencional y Amazon Go®

Figura 49. Obtenidas de:

<https://www.boingmag.com/tiendas-amazon-go-store/>

<https://viatea.es/curiosidades/amazon-go-tienda-inteligente/> (imagen de Kyle Johnson)

Fecha de consulta: 20 de abril de 2018

Figura 50. Obtenidas de:

<http://www.galiciaartabradigital.com/archivos/67008>

<https://www.revistagq.com/noticias/tecnologia/articulos/amazon-go-supermercado-futuro-seattle/27863>

Fecha de consulta: 24 de abril de 2018

Es importante resaltar que la computadora al momento de determinar la cantidad que debe pagar el usuario por los productos tomados de la tienda, la señal emitida por éste no se dirige a un actuador, como en los casos anteriores. Aquí, la señal es enviada al servidor de la compañía Amazon, que a su vez envía por internet la notificación con el monto a pagar por el usuario.

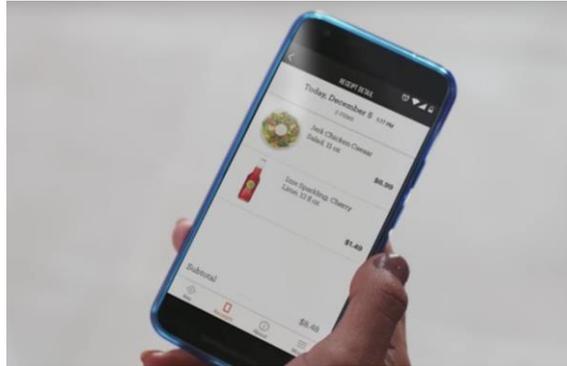


Figura 51. Notificación al usuario de su compra

Figura 51. Obtenida de:
<http://ritmoparana.com/web/asi-funciona-amazon-go-el-primer-supermercado-donde-no-hay-que-pasar-por-la-caja/>
Fecha de consulta: 20 de abril de 2018

Conclusiones

El presente trabajo cumplió con su objetivo debido a que se propuso una metodología que permite analizar un proceso de interés, encontrar puntos de mejora y mostrarnos que la instrumentación cuenta con elementos tecnológicos que permiten realizar esa acción.

También es importante mencionar que este trabajo puede servir para construir un puente de comunicación entre el ingeniero industrial y el ingeniero electrónico, ya que cuenta con los elementos básicos del lenguaje que manejan ambos en sus disciplinas, complementando el conocimiento que tienen uno respecto del otro.

Se muestra que la instrumentación juega un papel muy importante en la mejora de procesos, ya que a medida que estos se hicieron más grandes se fueron involucrando una mayor cantidad de variables a medir, lo cual representa un trabajo muy laborioso, pero con los dispositivos tecnológicos actuales se logró tener un mayor control sobre estas variables, al grado que el operador simplemente cumple la función de supervisión del proceso.

La metodología propuesta en este trabajo cumple con su aplicación en los casos expuestos, debido a que se observó que el encargado del proceso debe identificar que etapas o variables son críticas en el mismo, de lo contrario podría haber una mala implementación que no traería muchos beneficios para la empresa. También se destacó que el encargado actualmente cuenta con una gran oferta de opciones de dispositivos que le permiten realizar la medición que desea y que la elección puede realizarla el mismo o acercarse a los expertos en ese tema.

Es importante mencionar que en la metodología propuesta no se consideró el tema de los costos y el tiempo de la implementación, los cuales son temas realmente importantes para una empresa que busca instrumentar un proceso ya que puede afectar con las operaciones de algunas áreas de la empresa, traduciéndose esto en atrasos o pérdidas monetarias.

Bibliografía

ACTUM (2018) TAGs RFID activos, pasivos y semipasivos, Fecha de consulta: 22 de abril de 2017, disponible en: <https://www.actum.es/preguntas-frecuentes/tipos-de-tags>

ALCIATORE, David G (2008) Introducción a la mecatrónica y los sistemas de medición, 3ra edición, McGraw – Hill, México

BASTIAN SOLUTIONS (2017) Quick and gentle product sortation makes this a go-to for many industries [online], Fecha de consulta: 27 de octubre de 2017, Disponible en: <https://www.bastiansolutions.com/solutions/technology/conveyor-systems/sortation/conveyor/shoe-sorter>

BOLTON, William (2010) Mecatrónica. Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica, 4ª edición, Alfaomega, México

CONSTAÍN ARAGÓN, Alfredo José y BERNAL ALZATE, Efraín (2012) Metodología básica de instrumentación industrial y electrónica, Universidad de La Salle, Bogotá

CREUS SOLÉ, Antonio (1998) Instrumentación industrial, Alfaomega, México

FUENTES ZENÓN, Arturo (2001) Enfoques de planeación un sistema de metodologías, 2ª impresión, Posgrado en Ingeniería, UNAM

FUENTES ZENÓN, Arturo (2010) Conceptos y técnicas de evaluación, Posgrado de Ingeniería, UNAM

FUENTES ZENÓN, Arturo (2017) La planeación en imágenes (Apuntes), Posgrado en Ingeniería, UNAM

G.I. EICOM (2017) Soluciones de automatización para fin de línea, G.I. EICOM, México

HERNÁNDEZ MATÍAS, Juan Carlos y VIZÁN IDOPE, Antonio (2013) Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación, Politécnica, Madrid, 2013

LIBERA (2010) RFID: Tecnología, aplicaciones y perspectivas, LIBERANETWORKS, España

RIVERA MEJÍA, José (2007) Instrumentación, Trillas, México

SIX SIGMA ACADEMY (2005) Process Mapping.

Anexo

En el libro de Hernández y Vizán, se muestra un esquema de los pasos progresivos y técnicas concretas que se pueden ir aplicando para alcanzar un automatización completa en las máquinas. (Hernández, 2013)

Fase	Descripción	Carga Hombre/máq.
1	Autonomación del proceso Transferir esfuerzo de operario en esfuerzo de la máquina. Ejemplo: Atornillado automático.	Operaciones simultáneas operario/máq.
2	Autonomación de sujetar Sustitución de apriete manual por sistemas accionados mecánicamente. El operario solo carga el útil.	
3	Autonomación de alimentación Alimentación automática. El operario solo interviene para parar la alimentación en caso de errores.	
4	Autonomación de paradas El sistema de alimentación para correctamente la máquina al final del proceso. El operario puede abandonar el proceso o máquina.	Tareas de operario
5	Autonomación de retornos Finalizado y parado el proceso correctamente, el sistema retorna a situación de inicio sin ayuda del operario.	
6	Autonomación de retirada de piezas Finalizado el proceso y retorno, la pieza es retirada automáticamente de forma que la siguiente pieza puede ser cargada sin necesidad de manipular la anterior.	
7	Mecanismos antierror (Poka-Yoke) Para prevenir transferencia de piezas defectuosas al proceso siguiente se instalan dispositivos para detectar errores, parar la producción y alertar al operario.	
8	Autonomación de carga La pieza es cargada sin necesidad de operario. El proceso debe tener capacidad de detectar problemas y parar la operación.	Tareas máquina
9	Autonomación de inicio Completados los pasos anteriores la máquina debe empezar a procesar piezas de forma autónoma. Se deben prever problemas de seguridad y calidad.	
10	Autonomación de transferencia Se enlazan operaciones mediante sistemas de transferencia que eviten la intervención del operario.	

Tabla 5. Las 10 etapas de automatización (Jidoka)

Tabla 5 Obtenida de:
HERNÁNDEZ MATÍAS, Juan Carlos y VIZÁN IDOPE, Antonio (2013) Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación, Politécnica, Madrid, 2013