



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE FORMACIÓN PARA POTENCIAR EL USO DE LAS HERRAMIENTAS TIC EN LA APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

2018-1-ES01-KA202-050709

Estructura del Sistema Autónomo

Pautas para el TUTOR

Autores: INRAE

Fecha: Feb 2021

Este proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación refleja únicamente la opinión del autor, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en ella.

Contenido

1	Objetivos	2
2	Instrucciones para el Tutor	2
	2.1. Funcionalidades de un AS.....	2
	2.1.1 La cadena de información.....	4
	2.1.2 La cadena de energía.....	4
	2.1.3 La línea de acción	6
	2.2 Estructura de un AS	6
	2.3 Ejemplos de Sistemas Operativos.....	7
3	Enlaces relacionados	12

1 Objetivos

Los objetivos de esta lección son:

- Dar una visión general de las funcionalidades básicas de un Sistema Automatizado
- Comprender la estructura de un AS y el rol de cada componente
- Comprender más específicamente el papel y los medios para los sistemas operativos

2 Instrucciones para el Tutor

Esta es una lección de 2h presencial. Esta presentación llevará al asistente a obtener una visión general de la estructura de los Sistemas Automatizados (AS) con una visión de los sistemas operativos.

2.1. Funcionalidades de un AS

(Diapositiva 3 a diapositiva 10 del documento *Lección estructura.pdf*)

Estas diapositivas tienen como objetivo describir diferentes niveles de funcionalidades para la dirección y el guiado de un tractor con mayor o menor autonomía.

La diapositiva 4 presenta el sistema de dirección hidráulica básica que permite una acción proporcional en el pistón de dirección a través de la acción de los cilindros de dirección desde la acción en el volante. Cabe señalar que este sistema totalmente hidráulico es bastante antiguo y único en máquinas agrícolas y de obras públicas. Corresponde a un sistema completo que incluye una etapa de control (con un distribuidor hidráulico conectado al volante) y una etapa de potencia (motor hidráulico conectado a los cilindros de dirección). El sistema también puede funcionar como una bomba en circuito cerrado en caso de que la fuente de alimentación no sea efectiva.

Consulte la animación para obtener más detalles:

<https://powersolutionslearningresources.azurewebsites.net/danfoss/resources/animations/index.html>

Diapositivas 5, 6 y 7 del documento *Lección estructura.pdf*

Existen muchos sistemas comerciales, algunos ejemplos:

Trimble: <https://agriculture.trimble.com/solutions/guidance-steering/>

John Deere: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=john+deere+steering+guiding+solutions>

Diapositiva 8-9 del documento *Lección estructura.pdf*

Ahora se pueden automatizar giros en U, giros en K o giros en cola de golondrina.

En la diapositiva 9 se da un ejemplo de las diferentes fases que los participantes pueden comentar/deducir.

Este enlace proporciona mucha documentación y videos.

<https://agriculture.newholland.com/nar/en-us/precision-land-management/products/guidance-steering/integrated-steering-intelliturn>

Diapositiva 10 del documento *Lección estructura.pdf*

Introduce un mayor nivel de autonomía con la reproducción de trayectorias y ajustes de toma de fuerza, por ejemplo, con un pulverizador o una sembradora. Información adicional aquí: <https://precisionmakers.com/en/x-pert>

Las diapositivas 11 a 32 del documento *Lección estructura.pdf* ilustran las diferentes funcionalidades a través de interacciones entre el AS y el entorno y el operador

Diapositiva 12 del documento *Lección estructura.pdf*

Centrarse en la acción del operador sobre la Máquina incluyendo uno o varios sistemas automatizados. Se elige el ejemplo del guiado del tractor. En este caso, el operador configura la información en términos de viaje o pautas.

Diapositiva 13 del documento *Lección estructura.pdf*

De acuerdo con la configuración, la Máquina actúa como para aplicar la prescripción en términos de orientación de las ruedas. Esto requiere la ayuda de una cadena de alimentación y una cadena de acción: el volante de un tractor no puede actuar directamente sobre las ruedas.

Diapositiva 14 del documento *Lección estructura.pdf*

La máquina puede tener en cuenta los comentarios del entorno sin una acción específica por parte del operador (por ejemplo, pendientes, resistencia del suelo, etc.)

Diapositiva 15 del documento *Lección estructura.pdf*

Utilizando la interfaz hombre-máquina (MMI), la máquina informa al operador sobre la situación actual. Este ejemplo muestra un sistema de guiado donde la posición del tractor se ajusta manualmente siguiendo la prescripción inicial del operador.

Diapositiva 16 del documento *Lección estructura.pdf*

Sin embargo, dado que la situación de campo abierto puede ser compleja (y no completamente controlada por sensores o por la propia máquina), el operador puede estar directamente informado sobre el entorno.

Diapositiva 17 del documento *Lección estructura.pdf*

Introduce conceptos de cadenas de información, poder y acción.

2.1.1 La cadena de información

Diapositiva 18 - 22 del documento *Lección estructura.pdf*

Introduce la cadena de información con sensores (cf. AgriCT Training Package N°3. Se combinan, comparan y procesan diferentes niveles de información utilizando diferentes tipos de lógicas.

La información también se da a través de la comunicación entre el operador y diferentes interfaces utilizando protocolos y puertos. Los niveles más altos de complejidad se ilustran con las diapositivas 21 y 22 del documento *Lección estructura.pdf* con sistemas supervisados y sistemas controlados remotamente que encuentran aplicaciones en la gestión de flotas o IoT, por ejemplo.

2.1.2 La cadena de energía

Diapositiva 23 del documento *Lección estructura.pdf*

Ilustra que la función principal de la cadena de alimentación es alimentar el sistema con energía. El ejemplo es una representación esquemática de la alimentación de un motor eléctrico trifásico.

Otro ejemplo se da en la Diapositiva 24 de *Lección estructura.pdf* con la línea de alimentación de un ariete neumático. Aquí se muestran funciones adicionales en términos de nivel lógico o nivel de entrada de señal

Diapositiva 25 del documento *Lección estructura.pdf*

Otra funcionalidad de la cadena eléctrica es la conversión de energía. En este caso la energía del gasóleo se convierte sucesivamente en energía térmica, mecánica, hidráulica y mecánica.

Diapositiva 26 del documento *Lección estructura.pdf*

La potencia también se envía simultáneamente a varias subunidades, la energía mecánica se proporciona a la TDF (toma de fuerza) y la caja de cambios, y la energía hidráulica se proporciona al enlace de 3 puntos y la dirección.

Diapositiva 27 del documento *Lección estructura.pdf*

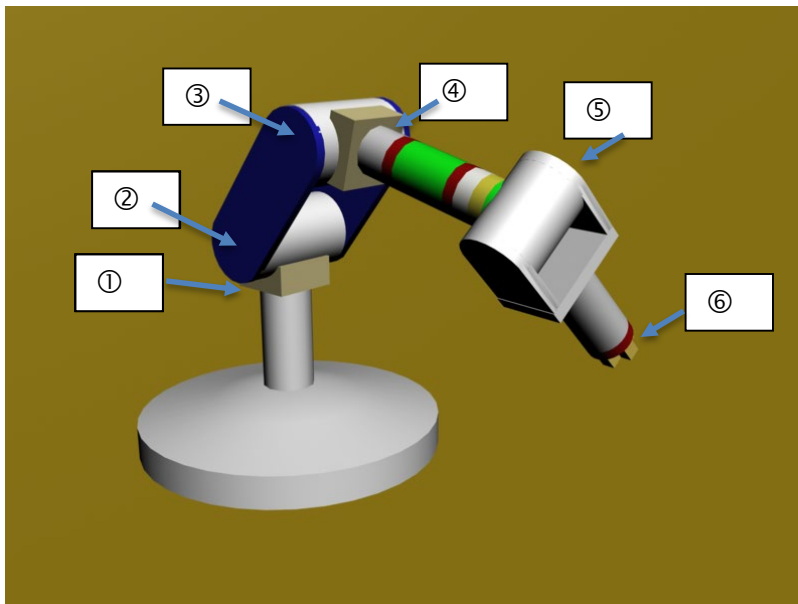
El envío de energía para diferentes acciones también se puede ilustrar mediante una cadena cinemática. Este concepto básico de la ingeniería mecánica es un ensamblaje de cuerpos/piezas rígidas por juntas. Puede ilustrarse mediante una representación esquemática de los vínculos entre los cuerpos. Los movimientos básicos representan rotaciones o traslaciones que hacen que cualquier objeto tenga potencialmente 6 grados de libertad (3 traslaciones en X, Y y Z) y 3 rotaciones. Una cadena cinemática de bucle abierto significa que hay al menos un objeto vinculado solo a otro objeto. Una cadena cinemática de bucle cerrado significa que cada objeto tiene dos conexiones vinculadas a un marco fijo. La amplitud global de movimientos en ambos casos (Diapositiva 27 de *Lección estructura.pdf*) es diferente.

Diapositiva 28 del documento *Lección estructura.pdf*

Esta diapositiva ilustra la acción de transferencia como parte de la CADENA DE POTENCIA bajo la forma, por ejemplo, de un tren de engranajes que se encuentra en una grada rotativa. En general, esta transferencia puede incluir una reducción o una ampliación de la velocidad de revolución.

Diapositiva 29 del documento *Lección estructura.pdf*

Otro ejemplo con un brazo robótico que incluye 6 pivotes



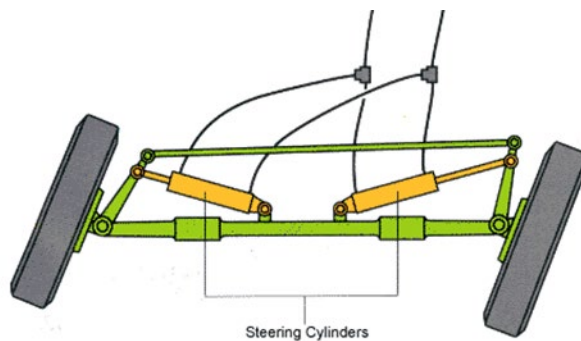
Como solo se permite 1 eje (X, Y o Z) para cada pivote, cada pivote solo proporciona un grado de libertad.

2.1.3 La línea de acción

Diapositiva 30 del documento *Lección estructura.pdf*

La Línea de Acción corresponde a la interfaz entre la línea eléctrica y el medio ambiente. Esta interfaz comprende tanto actuadores en los que se puede convertir la energía (por ejemplo, un pistón de dirección vinculado a la barra de dirección) como efectores finales.

El ejemplo se da con el mecanismo de dirección donde el actuador corresponde a los cilindros y los efectores finales a las varillas.



Diapositiva 32 del documento *Lección estructura.pdf*

Representa una descripción general sintética de información/poder y líneas de acción, incluidas las subfuncionalidades. El Sistema Automatizado usa información externa de MMI u otros sistemas, da orden a la línea eléctrica y usa información de retroalimentación de la línea eléctrica.

2.2 Estructura de un AS

Diapositiva 33 del documento *Lección estructura.pdf* Da una visión general de la estructura global de un sistema automatizado. Este diagrama se aplica a cada tipo de máquina/sistema. 3 elementos principales forman parte del sistema automatizado:

- La interfaz hombre-máquina
- La parte de control se desarrollará en la siguiente presentación (Ver documento *Lección control.pdf*)

La parte operativa incluyendo sensores y (pre) actuadores será desarrollada más adelante en esta presentación a partir del documento *Lección estructura.pdf*

- Este sistema automatizado aplica pautas del operador y también proporciona retroalimentación.

2.3 Ejemplos de Sistemas Operativos

La diapositiva 34 del documento *Lección estructura.pdf* muestra una automatización histórica en tractores. El principio es ajustar la profundidad del arado a través de la resistencia del suelo (control de tiro). El peso del arado es soportado por el sistema de articulación de 3 puntos que resulta en una transferencia de masa del arado a las ruedas traseras pero también de las ruedas delanteras a las ruedas traseras. El beneficio de dicho sistema se encuentra en términos de capacidad de tracción que está directamente relacionada con el peso soportado en las ruedas.

Más detalles del sistema automatizado se dan en la diapositiva 35 del documento *Lección estructura.pdf*. La información de la resistencia del suelo la proporciona el sensor de tiro ubicado directamente en la parte inferior del varillaje. El panel del operador le permite al operador establecer una cierta profundidad de trabajo de acuerdo con la resistencia promedio del suelo. El sistema actuará para mantener la fuerza de tiro actual lo más constante posible. En caso de que aumente la resistencia del suelo, el sensor informa a la centralita que da la orden al distribuidor hidráulico para levantar el arado. En caso de que la resistencia del suelo sea menor, el arado trabajará más profundo.

El control de tiro se puede asociar con un control de posición para limitar las posiciones más bajas de los implementos.

Diapositiva 36 del documento *Lección estructura.pdf*

Otros desarrollos asociados con el control de tiro son el control de deslizamiento donde la profundidad del implemento se puede adaptar para limitar el deslizamiento de las ruedas mediante el uso de un radar.

El resbalamiento de las ruedas bajo condiciones de tracción tiene un fuerte impacto en la compactación del suelo, especialmente cuando el contenido de humedad del suelo es importante. Puede conducir a modificaciones irreversibles de la estructura del suelo.

En caso de que la unidad de control compare la velocidad de desplazamiento aparente del tractor a partir de la velocidad de revolución de las ruedas y la velocidad de desplazamiento actual proporcionada por el Radar.

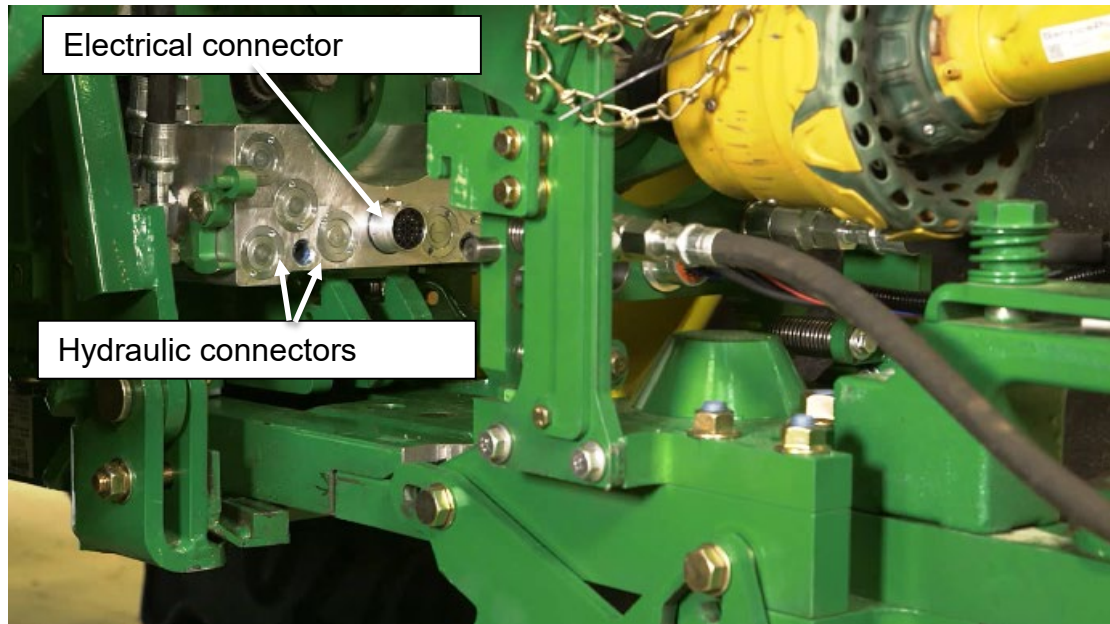
Aquí se enumeran funcionalidades adicionales para el control de corrientes de aire.

- Amortiguación activa de oscilaciones: limita la transferencia dinámica del implemento al tractor, especialmente en la carretera
- Control de presión para transferencia de peso: puede limitar la presión hidráulica en el sistema hidráulico
- Sistema de pesaje directo utilizando el sensor de tiro
- Sistema de nivelación lateral para compensar la longitud de los brazos de elevación izquierdo y derecho

- Sistema de diagnóstico: permite el autodiagnóstico de mal funcionamiento
- Conexión de bus electrónico (ej. CANbus)

La diapositiva 37 del documento *Lección estructura.pdf* muestra un ejemplo de enlace automático de un tractor y un implemento. Los accidentes que ocurren durante la conexión de implementos a la timonería de 3 puntos siguen siendo numerosos.

Este sistema utiliza una cámara para una localización precisa y un brazo telescópico para conectar el implemento. (Ver videos incluidos para su funcionamiento). La toma de fuerza y los circuitos hidráulicos también se conectan automáticamente.



La diapositiva 38 del documento *Lección estructura.pdf* muestra el principio de una función DPA (en francés: Débit Proportionnel à l'Avancement - Caudal proporcional a la velocidad de desplazamiento) en un pulverizador.

Las principales variables de un pulverizador se relacionan entre sí según la siguiente fórmula:

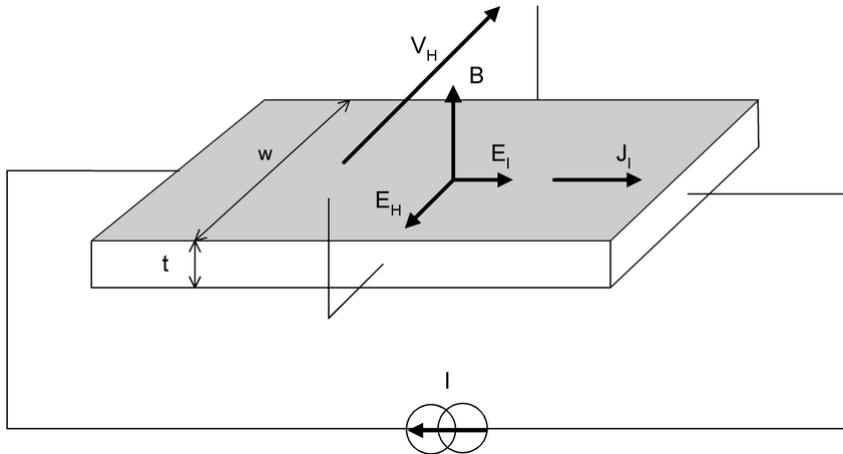
$$F = \frac{d W S}{600}$$

F: Caudal Total l/min
d: Dosificación (l/ha)
W: Ancho de trabajo (m)
S: Velocidad de avance (km/h)

En caso de que se produzca una variación de la velocidad de desplazamiento (debido a un cambio de RPM del motor, por ejemplo), esta debe implicar una

compensación en el caudal total para mantener la tasa de dosis lo más constante posible.

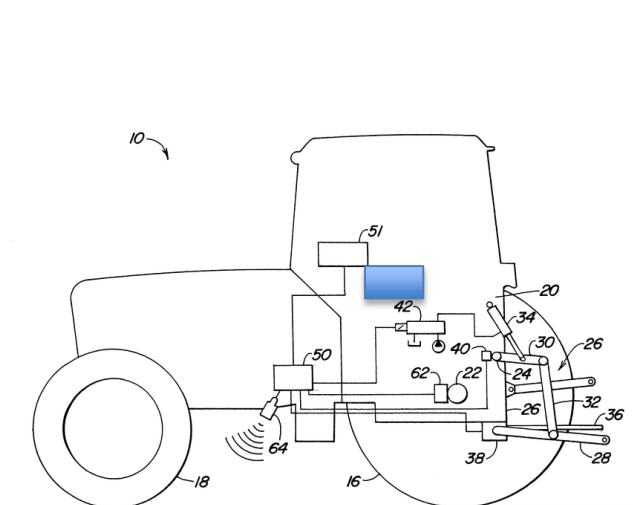
La función DPA requiere un sensor de velocidad de desplazamiento. Los sistemas comunes se basan en el efecto Hall con un sensor cerca de las tuercas de las ruedas del pulverizador. Cada tuerca que pasa frente al sensor genera una desviación del campo magnético que se cuenta como un pulso.



Principio: una placa conductora es alimentada con corriente eléctrica. Cuando esta placa se encuentra cerca del campo magnético (B) que es perpendicular a la placa (B aquí es vertical), el efecto Hall genera un voltaje V_H que es proporcional a la intensidad del campo magnético.

Este tipo de sensor es sin contacto, relativamente robusto y se usa ampliamente como sensores de posición, sensores de velocidad de revolución. En este último caso, generalmente hay un imán en un bulón de una rueda.

Otro tipo de sensor de velocidad es un radar (Radio Detecting And Ranging) generalmente montado en el tractor equipado con control de deslizamiento.



A



El radar genera una señal a una frecuencia de 2,4 GHz que corresponde a las bandas de ondas de microondas. La señal es reflejada por el suelo y parte de ella regresa al sensor. Cuando el tractor está inmóvil, actúa como un telémetro. Cuando el tractor se mueve, el retraso entre la emisión y la recepción es proporcional a la velocidad de desplazamiento.

El sistema GPS ya está desarrollado en el TP2 de este curso de formación.

La diapositiva 40 del documento *Lección estructura.pdf* ilustra otros sistemas automatizados que pueden estar presentes en los pulverizadores modernos y se refiere a la estabilidad de la barra y al seguimiento del terreno. La calidad del rociado depende en gran medida de la distancia de la boquilla al objetivo para los rociadores de barra. Se deben considerar dos casos: i) las opciones de seguimiento del terreno para toda la barra o secciones individuales de la barra ii) la compensación dinámica de los movimientos verticales de la barra.

Los sensores proximales se usan típicamente como sensores ultrasónicos que corresponden a telémetros que usan una onda de sonido por encima de 20 kHz. (caso del control de la pluma de Horsch) Los sensores de telemetría alternativos se encuentran con sistemas láser infrarrojo.

La diapositiva 41 del documento *Lección estructura.pdf* muestra otro sistema operativo que apaga automáticamente la sección de la barra para evitar una sobredosificación (lado derecho de la imagen) o para rociar en una zona sin rociar.

Este sistema utiliza la posición GPS que afecta a cada sección de barra (o a cada boquilla individual). Cada parte del campo ya rociada no se rocía dos veces. Este sistema a menudo se combina con un sistema de guiado para optimizar las trayectorias.

Diapositiva 42 del documento *Lección estructura.pdf*.

La detección de la vegetación es de gran interés para los fumigadores de cultivos arbustivos y arbóreos. Utiliza la información de sensores ultrasónicos o un Lidar 2D (es decir, un RADAR que generalmente usa luz infrarroja). La situación sin control (arriba a la izquierda) se ilustra con rocíos totalmente independientes del tamaño de la vegetación.

Un primer nivel de sistema operativo es el sistema accionado por dosel. Los triángulos azules pequeños aún corresponden a aerosoles, mientras que las zonas grises más grandes corresponden a la zona de muestreo de los sensores ultrasónicos. En consecuencia, las secciones de la barrera se controlan según la presencia o no de vegetación.

Un segundo nivel se basa en el uso de un Lidar (el área de muestreo es una parte de un disco. (Ejemplo Lidar SICK LMS 100, banda IR 905 nm; 50 rev/s, resolución de 0,5 grados, ángulo de 270°). En este caso, las boquillas se

activan individualmente según la presencia de la copa y/o la densidad de la copa.

Ambos sistemas pueden conducir a una reducción significativa de las pérdidas de productos fitosanitarios.

Diapositiva 43 del documento *Lección estructura.pdf*.

Los invernaderos suelen ver una gran cantidad de AS. El ejemplo aquí es un sistema de dosificación donde la cantidad de fertilizante o PPP se puede ajustar proporcionalmente a la cantidad de agua. Es un sistema de inyección directa con varias ventajas: no requiere mezcla en tanque, el producto puede ser succionado directamente de su contenedor, desperdicios limitados después del enjuague. Los sistemas sofisticados combinan varios sistemas y pueden ajustar la dosificación de acuerdo con las necesidades agronómicas.

Una versión portátil de inyección directa se muestra en la diapositiva 44 del documento *Lección estructura.pdf*. Este sistema comercial es capaz de gestionar la dosificación de varios líquidos o polvos simultáneamente. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el rango de capacidad de dosificación es a veces limitado y no siempre acepta toda la variabilidad de la velocidad de desplazamiento en el campo durante las fases de aceleración o desaceleración.

Diapositiva 45 del documento *Lección estructura.pdf*.

Este es un ejemplo de sistema operativo en ganadería utilizado para la adaptación de distribuidores de pienso para ganado concentrado o leche para las terneras. La distribución se realiza de acuerdo a la identificación de la vaca (RFID) y parámetros técnicos vinculados a la producción de leche de esta vaca.



En 2020, solo el 15 % de las explotaciones lecheras utilizaban un marcado RFID en las vacas en Francia y correspondía principalmente a 100 o más vacas (25 % equipadas).

<http://idele.fr/domaines-techniques/sequiper-et-sorganiser/identification-rfid/publication/idelesolr/recommends/la-rfid-bovine-utilisee-essentiellement-par-les-eleveurs-laitiers/print.html> (in French)

Existen estándares ISO para tarjetas RFID: ISO 11784 (para HDX Half Duplex) e ISO 11785 para FDX (Full Duplex). En Francia, el 75% de las tarjetas RFID son de tipo HDX que corresponden al sistema estándar para la distribución de concentrado o leche.

Diapositiva 46 del documento *Lección estructura.pdf*.

Esta diapositiva presenta una representación esquemática de un invernadero con todos los parámetros externos (meteorológicos) a considerar, parámetros internos a controlar y medios de control para los siguientes parámetros:

- Temperatura diurna y nocturna dentro y fuera de los invernaderos
- Humedad, humedad y niveles de CO₂
- Eficiencia lumínica y efecto de la radiación solar.
- Mediciones de suelo, riego y drenaje.
- Sanidad y madurez de las plantas
- ...

La lista de parámetros y medios de control se puede discutir con los participantes.

Diapositiva 47 del documento *Lección estructura.pdf*.

Esta diapositiva representa actuadores y sensores utilizados para controlar las condiciones climáticas en el invernadero. La lista de sensores y actuadores se puede discutir con los participantes.

Diapositiva 48 del documento *Lección estructura.pdf*.

Los sistemas operativos en los invernaderos también pueden tener un alto nivel de autonomía, mientras que los brazos robóticos se pueden usar para acciones de manipulación en el invernadero (derecha) o la recolección de fresas (izquierda)

3 Enlaces relacionados

[Ivan Margolius](#), 'The Robot of Prague', Newsletter, The Friends of Czech Heritage no. 17, Autumn 2017, pp. 3 - 6.
<https://czechfriends.net/images/RobotsMargoliusJul2017.pdf> [Archived](#) 2017-09-11 at the [Wayback Machine](#)

[Karel Capek – Who did actually invent the word "robot" and what does it mean?](#) at capek.misto.cz ^{[[dead link](#)]} – [archive](#)

Kurfess, Thomas R. (1 January 2005). [Robotics and Automation Handbook](#). Taylor & Francis. [ISBN 9780849318047](#). [Archived](#) from the original on 4 December 2016. Retrieved 5 July 2016 – via Google Books.

King, A. Technology: The Future of Agriculture. *Nature* **544**, S21–S23 (2017).
<https://doi.org/10.1038/544S21a>

Zhao, Y., Gong, L., Huang, Y., Liu, C., 2016 A review of key techniques of vision-based control for harvesting robot. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 311-323. DOI 10.1016/j.compag.2016.06.022

Driessen, C., Heutinck, L., 2015. Cows desiring to be milked? Milking robots and the co-evolution of ethics and technology on Dutch dairy farms. *Agric Hum Values* (2015) 32:3–20. DOI 10.1007/s10460-014-9515-5

John, A.J., Clark, C.E.F., Freeman, M.J., Kerrisk, K.L., Garcia, S.C., Halachmi, I., 2016, Review: Milking robot utilization, a successful precision livestock farming evolution, *Animal* (2016), 10:9, pp 1484–1492 © The Animal Consortium 2016 doi:10.1017/S1751731116000495