

Robots de ordeño y sistemas AMS

P. BARREIRO. J. ORTIZ-CAÑAVATE. DPTO. INGENIERÍA RURAL. ETSIA. UPM. MADRID

Los robots de ordeño se introdujeron en Holanda en 1992. Hoy, más de 500 granjas de todo el mundo ordeñan de forma robotizada. En Europa, estos sistemas se reparten en un 70% en los Países Bajos, 23% en Suiza y Alemania, 6% en Gran Bretaña y 1% en los Países Escandinavos. Todo ello indica que la industria ha resuelto los aspectos técnicos iniciales, y una cierta disposición del sector ganadero hacia la innovación tecnológica.

La automatización de los sistemas de ordeño (Automatic Milking Systems, AMS) ha ido más allá de las cuestiones iniciales que supusieron la adaptación automatizada de las pezoneras a la ubre mediante manipuladores automáticos de alta precisión (robots). En los sistemas AMS se da paso al estudio de la gestión mínimamente supervisada de la explotación mediante: gestión del movimiento del ganado y automatización de tareas colaterales al ordeño (limpieza anterior y posterior al ordeño, análisis y control de la calidad de la leche, transporte a los tanques de pre-enfriado y almacenamiento...).



Brazo robotizado comercializado por Zenith Robot Australia.

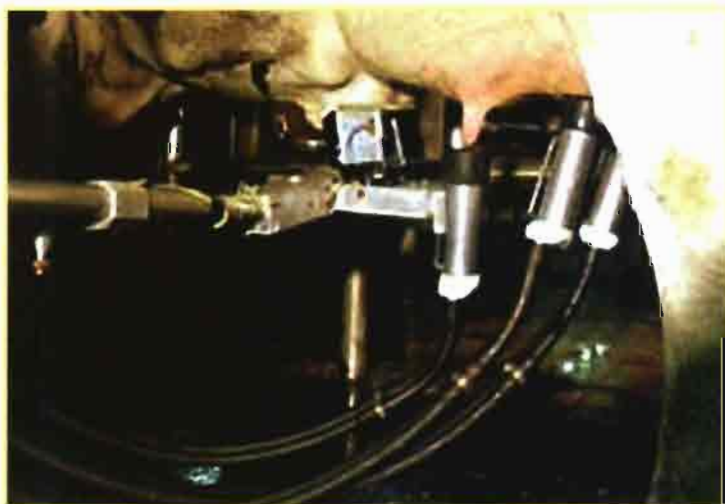
- Impacto del ordeño robotizado sobre la calidad de la leche y tecnología disponible para detectar y aislar la leche de baja calidad. Todos estos aspectos serán abordados en este artículo.

Sistemas de ordeño convencionales

Dentro del término "convencional" hay que distinguir aquellos sistemas en los que las unidades de ordeño se desplazan hasta el ganado, frente a otros más modernos consistentes en salas de ordeño, donde las unidades de ordeño están dispuestas de forma fija y a las que hay que conducir el ganado. En éstos últimos, nos encontramos distintos tipos de configuraciones (transversal, en tandem, en túnel o doble tandem, en espina de pescado y rotatoria).

En las salas de ordeño se han ido introduciendo distintos tipos de novedades como la desconexión automática de las pezoneras cuando el sistema detecta que el flujo de leche disminuye por debajo de un umbral, permitiendo optimizar los tiempos de operación y mejorar las condiciones de trabajo.

Sin embargo, la limpieza y masaje iniciales de las ubres, así como la conexión de las pezoneras se efectúa de forma manual



Brazo robotizado desarrollado por el SRI (Gran Bretaña).

Actualmente, se presta especial atención al impacto global de los procesos automatizados de ordeño en todas las operaciones diarias:

- Capacidad del sistema AMS en relación con el tamaño de la ganadería, al desplazamiento del ganado, a la inversión y a la mano de obra disponible.
- Manejo de la ganadería y soportes informáticos de ayuda al manejo.
- Localización del robot de ordeño en relación con el establo y la higiene.
- Ordeño robotizado en combinación con acceso voluntario a las zonas de ordeño.
- Impacto del ordeño robotizado en la salud y el bienestar de los animales.
- Optimización del transporte, almacenamiento y limpieza imprescindibles para la aceptación pública de los sistemas AMS.

CUADRO I. Calidad de la leche en granjas con distintos sistemas de ordeño (154 AMS y 105 convencionales). Estudio de Van der Vorst y Hogeveen en el año 2000: 2x y 3x refieren a 2 y 3 ordeños diarios en instalación convencional. TPC: conteo total por placa (unidades de coliformes fecales/ml), BSCC: células somáticas en la leche (células por mililitro), FP: punto de congelación, y FFA: ácidos grasos libres (millequivalentes por 100 g).

	TPC (x 1000 cfu/ml)	BSCC (x 1000 células/ml)	FP (°C)	FFA (meq/100 g)
AMS anteriores a 1998	17 ± 7	204 ± 39	-0.528 ± 0.005	0.65 ± 0.11
AMS posteriores a 1998	12 ± 5	192 ± 37	-0.529 ± 0.004	0.61 ± 0.08
2 x convencional	8 ± 3	181 ± 39	-0.532 ± 0.004	0.44 ± 0.06
3 x convencional	8 ± 3	175 ± 38	-0.536 ± 0.004	0.54 ± 0.08

Dossier *vacuno de leche*



Sistema robotizado comercializado por Delaval.

por un operario. Podemos encontrar en el mercado salas de ordeño tanto para vacuno como para ovino y caprino.

Las unidades de ordeño están constituidas por: pezoneras, pulsador y bomba de vacío, y son similares en los sistemas convencionales y los sistemas robotizados.

Brazos robotizados y rutinas de ordeño adaptativas

Como ya se ha mencionado, la denominación de robot de ordeño implica la presencia de un sistema de posicionamiento de los pezones, así como de un manipulador de alta precisión para la adaptación de las copas de succión o pezoneras. Estos sistemas desde un inicio fueron estudiados con profundidad por varios centros de investigación europeos: SRI (Silsoe Research Institute, Gran Bretaña), Cemagref (Centre du Machinisme Agricole et des Genies Rural, des Eaux et des Forêts, Francia) e IMAG (Instituut voor Milieu en Agritechniek, Países Bajos) entre otros.

En los inicios, se evaluaron distintas tecnologías para el posicionamiento de los pezones: visión artificial, ultrasonidos y sistema láser, aunque es éste último la más adoptada en los sistemas comerciales de ordeño dada su gran precisión.

Las casas comerciales que fabrican sistemas robotizados de ordeño son: Lely-Astronaut, Alfa Laval-VMS, Fullwood Dairy Systems-Merlin, Westfalia-Leonardo, Prolion-Liberty, Zenith Robot Australia, Gascoine Melotte y Boumatic.

Resulta especialmente innovadora la incorporación a los brazos robotizados de sistemas de selección de las copas de succión que más se adaptan a la morfología del pezón. Davis y colaboradores (2000) identifican dos tipos de morfología: clásica y cónica, observando que resulta más factible el ordeño robotizado en la conformación clásica.

Este mismo estudio indica que la selección más adecuada de las copas de succión, junto con el control de forma diferenciada de las rutinas de succión puede redundar en un aumento significativo de la eficiencia de los sistemas robotizados de ordeño.

La necesidad de comprender estos fenómenos ha impulsado el desarrollo de modelos matemáticos de elementos finitos de las ubres con el fin de mejorar el diseño de las copas y de los parámetros de succión. Estos últimos han de estar controlados por el sistema automatizado de manejo, que es el responsable de identificar el animal previamente a su ordeño.

El desarrollo de unidades robotizadas de ordeño ha implicado desarrollos complementarios, como los sistemas automatizados de limpieza y masaje de las ubres.

Actualmente, el término ordeño robotizado (Robotic Milking System, RMS) se aplica no sólo a la existencia de un brazo articulado, sino al concepto de automatización global de la instalación (AMS) y a la asistencia voluntaria a salas de ordeño (Voluntary Milking System, VMS).

Capacidad y productividad de los sistemas AMS

Existen pocos datos disponibles en la bibliografía aunque algunos autores (Robotic Milking 2000) indican que un puesto de ordeño automatizado permite el manejo de 45 a 50 vacas.



Sistema robotizado Merlin comercializado por Fullwood Dairy Systems.

Se han desarrollado modelos de cálculo para la determinación de las restricciones de tiempo, (como el software PROOF-VB de Suiza), que integra bases de datos con tiempos de operaciones individuales. Así se establecen cuatro grandes bloques de tareas: supervisión de los animales, limpieza de los equipos, ordeño y trabajos difícilmente planificables (vacas que precisan la adaptación manual de las copas de succión o vacas incapaces de entrar solas en las zonas de ordeño...).

Este modelo indica que un AMS con un brazo robotizado y dos puestos de ordeño sólo alcanza un 60% más de rendimiento que un brazo robotizado con un solo puesto de ordeño debido a los pequeños tiempos de demora derivados del desplazamiento del brazo de uno a otro puesto.

PROOF-VB establece asimismo que el tiempo de trabajo de un robot con un puesto de ordeño se reduce en un 30% respecto a un sistema convencional, en el que las pezoneras han de ser adaptadas por un operario.

Por otra parte, el principal beneficio de los

CUADRO II. Porcentaje medio de muestras que superaron los límites admitidos por la norma holandesa. Estudio de Van der Vorst y Hogeveen del año 2000: 2x y 3x refieren a 2, y 3 ordeños diarios en instalación convencional. Período de evaluación un año y medio con muestreo 1 vez por semana.

	Umbral de rechazo según la normativa			
	ITPC > 100.000 c.fu./ml	BSCC > 400.000 cel./ml	FP > -0.505 °C	IFFA > 1:00 meq/100 g
AMS anteriores a 1998	5.0%	6.5%	2.4%	8.1%
AMS posteriores a 1998	2.8%	4.9%	1.8%	4.2%
2 x convencional	1.2%	5.4%	0.4%	1.3%
3 x convencional	1.2%	3.7%	0.9%	4.9%

Dossier *vacuno de leche*

sistemas AMS se cifra en el incremento de la producción debido a un ordeño más frecuente. La frecuencia de ordeño óptima se sitúa en tres veces/día. Un incremento de la frecuencia de ordeño de 2 a 3 veces/día redonda en incrementos de hasta 3,5 kg de leche/día, según algunos autores (Robotic Milking 2000).

Konong & Ouweltjes (Robotic Milking, 2000) ofrecen los resultados de una granja de 70 vacas en Holanda, en estabulación continuada a lo largo del año y con una cuota de produc-



Sistema robotizado Astronaut comercializado por Lely.

ción de 800.000 kg de leche/año. La granja con un sistema AMS es un negocio atendido por una persona trabajando un máximo de 50 h/semana. El tiempo medio empleado por el sistema de ordeño por vaca es de 12 minutos/día con unos intervalos medios de tiempo entre ordeños consecutivos de 8 a 9 horas, 2,5 ordeños/vaca y día, y flujos de extracción de 2,5 kg/minuto.

Sistemas de manejo automatizado del ganado

La unidad de producción mínima es una vaca. Los sistemas AMS se basan en dos aspectos que permiten el manejo del ganado individualmente, ampliando el horizonte respecto de los sistemas de manejo tradicional:

- Posibilidad de influir la producción a través de la variación de la frecuencia de ordeño, así como la posibilidad de variar el aporte individual de los piensos.
- La infraestructura hardware y software en los sistemas de manejo supervisa el empleo de la unidad robotizada de ordeño por cada vaca y establece mediante rutinas de toma de decisión, cuáles serán las actividades de ordeño, así como el aporte alimenticio individual suplementario.

El diseño genérico de un sistema AMS consiste en la separación de la zona de reposo y de la zona de alimentación a través de pasajes unidireccionales que atraviesan el área de ordeño robotizado. Los animales se desplazan libremente desde las zonas de reposo, atravesando un área de identificación. Las vacas de mayor productividad son orientadas a la zona de ordeño con más frecuencia (hasta 4 veces/día) y las vacas menos productivas a las de menos frecuencia. Este hecho ayuda a maximizar el número de vacas que puede ser atendida por una unidad robotizada.

En los sistemas AMS el responsable de la instalación no está presente en los ordeños. Por este motivo, es importante aportar al ganadero datos numéricos que caractericen las conductas normales de los animales de manera que puedan tener criterio para reconocer cuando se están produciendo situaciones excepcionales (este aspecto está todavía pendiente de desarrollo).

Estudios recientes demuestran que el número y hora de asistencia voluntaria a la unidad robotizada de ordeño son muy variables de unos animales a otros, aunque como promedio se puede afirmar que la asistencia es mayor por la mañana que por la tarde.

En un estudio llevado a cabo sobre una instalación con 48 vacas (Robotic Milking 2000), se obtuvo un aprovechamiento de la unidad robotizada del 60% del tiempo total (24 horas/día) estando, este rendimiento muy afectado por el tiempo necesario para entrar y abandonar la sala de ordeño, por lo que la posición del robot es de máxima importancia a la hora de conseguir un aprovechamiento máximo de la unidad robotizada.

El desarrollo de sistemas AMS con asistencia voluntaria a las zonas de ordeño supone la incorporación de técnicas de ingeniería de organización ante la necesidad de evitar que la libertad de elección del ganado genere colas en los departamentos del área estabulada que colapsen el buen funcionamiento.

Uno de los aspectos que ha sido sometido a investigación es la generación de estrés en el ganado con distintos sistemas de ordeño.

Investigaciones recientes muestran que parámetros como el nivel de adrenalina en plasma o el ritmo cardíaco, son más bajos en vacas con asistencia voluntaria a las zonas de ordeño respecto a sistemas convencionales, lo que parece reforzar la idea de unas mejores condiciones de vida de los animales.

Este hecho no debe dejarse en saco roto, ya que el bienestar del ganado es actualmente un aspecto muy demandado por la opinión pública en los países del Norte de Europa.

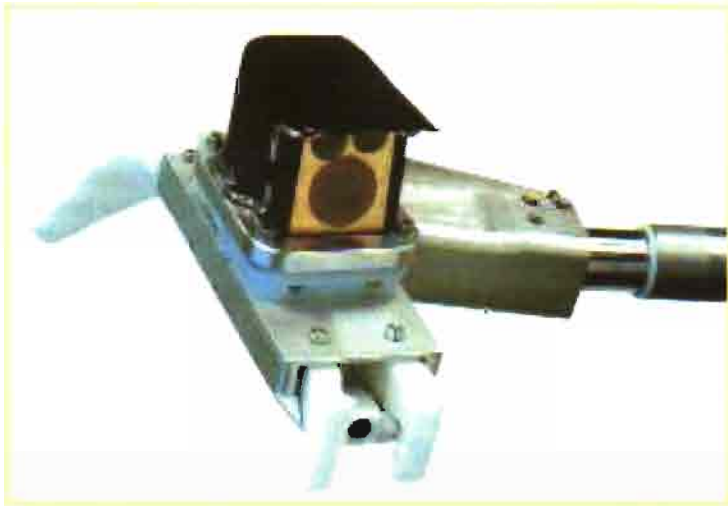
Incidencia de los AMS en la calidad de la leche

Hasta aquí hemos expuesto los aspectos más positivos de la implantación de los sistemas AMS: mejora de las condiciones sociales y laborables de los encargados de la instalación; aumento de la productividad, y mejora del bienestar de las vacas, cuando se facilita el acceso voluntario a la zona de ordeño incentivado con un aporte alimenticio suplementario. Sin embargo, ¿qué datos hay disponibles en relación con el efecto de los AMS sobre la calidad de la leche?

En los Países Bajos se ha llevado a cabo un estudio por Van der Vorst y Hogeveen publicado en el año 2000 (Robotic Milking) sobre 154 granjas con AMS implantado frente a 105 granjas con el sistema convencional (60 de ellas con 2 ordeños por día y 54 con 3 ordeños por día). Este estudio refleja claramente el empeoramiento de la calidad de la leche en términos de carga total por placa (TPC, cfu/ml), con incremento de las células



Sala de ordeño rotativa para vacuno.



Ejemplo de sistema láser para el posicionamiento de los pezones.

somáticas en la leche (BSCC ó SSCC, células/ml) y del punto de congelación (FP, °C), así como de los ácidos grasos libres (FFA, meq/100ml). Cíclicamente se observa incluso instantes de superación del límite permitido por la ley (100.000 TPC entre otros, ver **cuadro II**) tras la introducción de sistemas AMS, algo ya superado en Holanda en las granjas con procedimiento convencional (ver **cuadro I**).

Este estudio compara asimismo sistemas AMS de 1ª y 2ª generación (implantados con anterioridad y posterioridad a 1998 respectivamente) observándose una mejora sustancial de la calidad de la leche en los sistemas más modernos.

A pesar de la dureza de los datos, hay que destacar esa mejora de la calidad de la leche de los sistemas de 2ª generación respecto a los de 1ª, si bien queda aún por debajo de los métodos convencionales.

En este contexto, la pérdida de calidad debe entenderse como un efecto derivado del uso de las instalaciones 24 horas/día lo que implica la introducción de nuevos sistemas de limpieza que complican la inspección visual. El hecho de que en los sistemas AMS implantados aparezcan con más frecuencia períodos esporádicos de aumento de la contaminación de la leche, pone de relevancia el interés de detectar y segregar las muestras contaminadas antes de su incorporación a los tanques de enfriado, así como la incorporación de señales de alerta al personal responsable que identifiquen las vacas con problemas de infección (mastitis).

Sensores para la supervisión de la calidad de la leche

Los sensores más conocidos para la determinación de la presencia de mastitis son los derivados de la determinación de la conductividad eléctrica (CE) en la leche en tiempo real. Sin embargo, este tipo de determinaciones ha sido sistemáticamente puesta en entredicho ya que los umbrales de infección pueden variar considerablemente de unos tipos de leche a otros y dependiendo de la temperatura, y el procedimiento de medida (antes o después de la expulsión de la leche).

Algunos investigadores proponen resolver el problema con sofisticados programas de calibración, fundamentados en el empleo de bases de datos generadas en la propia explotación (correcciones por vaca y hora de ordeño). Nuevos estudios apuntan como alternativa el estudio de la variabilidad de la CE durante el ordeño, ya que la CE tiende a aumentar drásticamente en vacas con mastitis al final del ordeño.

Otros sensores actualmente en evaluación son la espectroscopía

en el infrarrojo cercano (NIR) para la determinación de los ácidos grasos libres (FFA), lactosa y proteína total, así como células somáticas (SSCC).

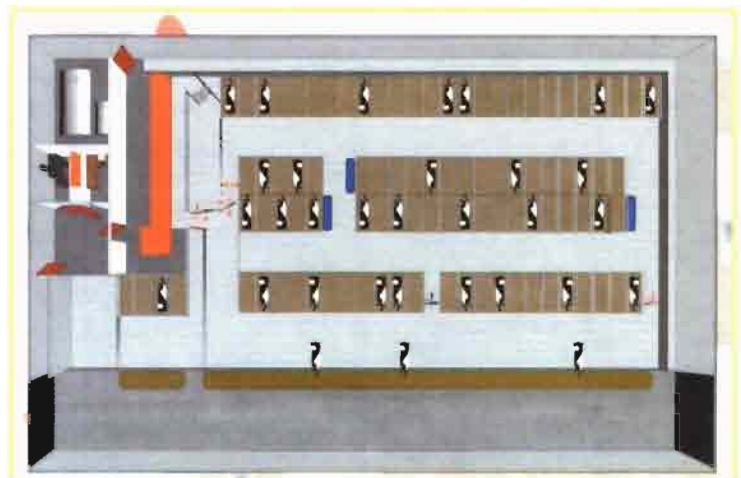
Por otra parte, los sensores tipo Keto-sensor (Dart Sensors Ltd.) son interesantes para la determinación en tiempo real de la presencia de acetona en la leche. Finalmente, Mottran y colaboradores (Robotic Milking, 2000) proponen el uso de biosensores receptivos a Nacetil glucosaminidasa (NAGase), producto que se libera cuando hay daños en el tejido de la ubre.

Tanques refrigerados de almacenamiento y recuperadores de calor

Según la normativa (DIN 8968), las explotaciones lecheras que no expidan su producto en las 4 horas posteriores al ordeño están obligadas a disponer de tanques de enfriado a 4 °C para preservar la calidad de la leche. La leche debe pasar de la temperatura corporal a la temperatura de almacenamiento en 3 horas. Los elementos que constituyen un sistema de almacenamiento refrigerado son: compresor, evaporador, condensador y válvula de expansión.

El transporte de la leche de las unidades de ordeño a los tanques de refrigeración se realiza mediante tuberías. Los sistemas de higienización son, por tanto, un aspecto de máxima relevancia.

Una de las líneas de investigación en el desarrollo de tanques de refrigeración es la recuperación del calor retirado a la leche. Un estudio remitido por el Ministerio de Agricultura de Ontario (Canadá) demuestra que es posible re-aprovechar el calor retirado a la leche para calentar un circuito de agua situado a nivel del condensador. Así, una instalación con una



Ejemplo de diseño de área estabulada en un sistema AMS con acceso voluntario a la zona robotizada de ordeño.

producción diaria de 1.500 litros de leche puede calentar hasta 1.200 litros de agua al día, con un salto térmico considerado de 10 a 50 °C, consiguiéndose un ahorro anual aproximado de 300.000 pesetas. De esto se desprende que: economía de energía y agua serán claramente un objetivo prioritario en las nuevas generaciones de sistemas AMS.

Sólo resta en este artículo hacer una pequeña aproximación al coste de un sistema AMS. Datos procedentes de Alfa Laval indican un coste de instalación para un sistema AMS de entre 30 y 50 millones de pts. En los informes consultados se indica además que el mantenimiento anual de estas instalaciones ronda el 10% del coste inicial (entre 3 y 5 millones de pts.) y que de ello depende el óptimo funcionamiento de la instalación. ■