

06-016

## Evaluation of Milking process times in Automatic Milking Systems

Martin Barrasa Rioja; Ángel Castro Ramos; Carlos Amiama Ares; José Manuel Pereira  
González

Escuela Politécnica Superior de Lugo. USC;

In automatic milking systems milking process time is defined as duration from the instant when the identified animal within the milking box has been accepted for milking until the instant for release of the animal from the same milking box. There are several identify facts during this process some of which can be different between different manufactures of automatic milking systems. From these facts is possible to calculate the total and partial times: Milking Process Time, Total Machine-on Time, Teatcup on Time, Pre-Milking Time, Teat Cleaning Time, Attachment lag Time, Teatcups Attachment Times, Cluster Attachment Time, Post-Milking Time, Non-Milking Occupation Time.

Three digital video cameras were installed recording the milking process. The video recordings were analyzed using software operating in Windows. An accumulative timing was realized selecting points identifiable on each milking. Times were calculated by subtraction of time registered on each point, so results obtained could be used to make comparisons between different systems.

**Keywords:** Automatic milking system; milking process; ratio of attached teatcups; cluster attachment time

## Evaluación de tiempos de proceso de ordeño en sistemas de ordeño robotizados

En sistemas de ordeño robotizado se define el tiempo de proceso de ordeño como aquel que transcurre desde el instante en que un animal es identificado en el box y aceptado para el ordeño hasta el instante en que es liberado y expulsado de ese mismo box de ordeño. A lo largo de este proceso se suceden una serie de hitos, algunos diferentes en función del tipo de máquina utilizada. A partir de esos hitos se pueden identificar y calcular los tiempos parciales y totales del proceso: Tiempo de proceso de ordeño, tiempo de trabajo de la máquina, tiempo de pre-ordeño, tiempo de limpieza, tiempo de estimulación, tiempos de fijación de pezoneras, tiempo de colocación de la unidad, tiempo de post-ordeño, tiempo de ocupación sin ordeño.

En el presente trabajo se realizó una monitorización de un sistema de ordeño robotizado con un sistema de grabación continua compuesto por 3 cámaras tipo domo dotadas con visión nocturna que permiten grabar de forma continua las 24 horas del día. El posterior análisis, recogida de datos permite identificar los hitos, tiempos parciales y totales del proceso de ordeño y realizar comparaciones con otros sistemas diferentes a los que se aplique la misma metodología.

**Palabras clave:** tiempos ordeño; ordeño robotizado; grabaciones ordeño”

Correspondencia: Martín Barrasa Rioja martin.barrasa@usc.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## 1. Introducción

Cuando en la década de los años 80 del pasado siglo comenzaron las investigaciones que desembocaron en la instalación en el año 1992 del primer sistema de ordeño robotizado, pocos creían que el robot iba a cambiar la tendencia del ordeño mecánico, sin embargo desde entonces su presencia se ha ido extendiendo por más de 30 países, y aunque su número exacto no es fácil de saber se estima que rondan las 35.000 unidades en todo el mundo (Salfer, J. et al. 2017). Los motivos para invertir en el robot de ordeño son diversos. Hogeveen et al (2004) apunta cinco motivos principales: disminución de trabajo, flexibilidad laboral, posibilidad de ordeñar las vacas más de 2 veces al día, substitución de un empleado y la necesidad de un nuevo sistema de ordeño. Algunas investigaciones señalan incrementos de producción que pueden superar el 10% y reducciones de trabajo del 20% respecto al ordeño convencional. Mathijs (2004) llevó a cabo una encuesta entre 107 agricultores que invirtieron en robots de ordeño y cuantificó un ahorro del 18% de mano de obra (17 h / semana). Otras investigaciones apuntan a que los ahorros de trabajo dependían de la capacidad de gestión de los agricultores y, en algunos casos, la introducción de robots de ordeño supuso un aumento del trabajo. Wirtz et al. (2004) reportaron que la producción de leche puede aumentar hasta un 20% cuando las vacas son ordeñadas tres veces al día, sin embargo, Wade et al. (2004) encontraron un aumento promedio de sólo el 2%. Datos que a veces pueden parecer hasta cierto punto contradictorios apuntan a que la implementación de un sistema de ordeño robotizado supone una importante innovación que aporta ventajas pero que no está libre de dificultades. Las vacas tienen que adaptarse al nuevo sistema, el ganadero necesita adquirir nuevos conocimientos y adaptarse a la nueva tecnología, para optimizar el coste de inversión más elevado que supone invertir en un sistema de ordeño robotizado comparado con el sistema de ordeño convencional (Castro et al, 2015).

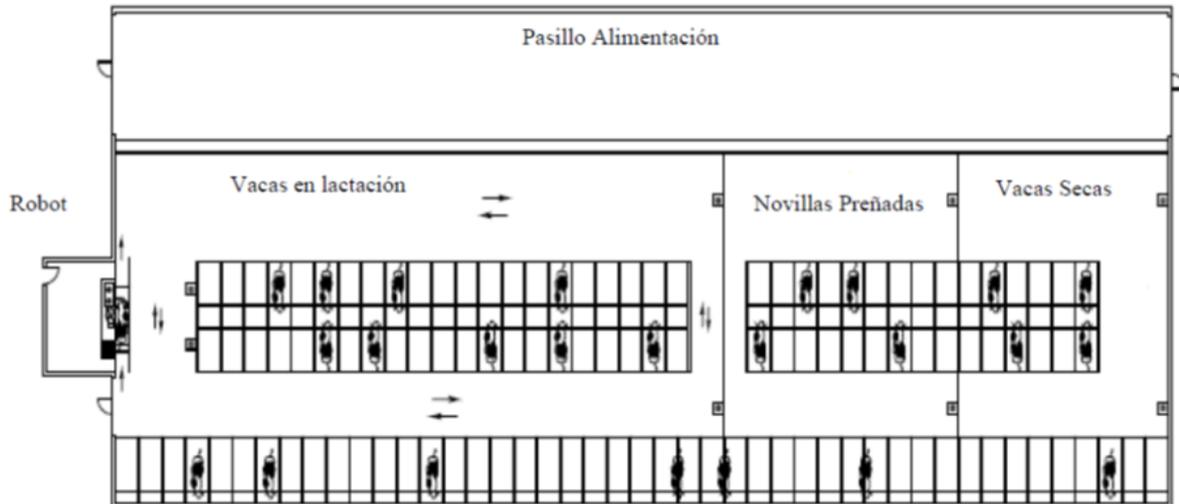
Hacer rentable al máximo la máquina resulta fundamental para afrontar la importante inversión (alrededor de 120.000 euros), que además obliga a un crecimiento modular de las explotaciones condicionado por la capacidad de los sistemas. Quizás el índice más importante que define la eficiencia de un robot de ordeño es la cantidad de leche obtenida en un periodo de tiempo (kg/año). Este índice importantísimo para evaluar la amortización del sistema, está directamente relacionado con el índice de ocupación (IO), definido como el tanto por ciento de horas que un robot utiliza en el proceso de ordeño respecto al total en un año, lo cual da una idea de la capacidad a la que está trabajando un SOR. En condiciones reales de trabajo no es posible utilizar todas las horas del día en el proceso de ordeño; algún tiempo es consumido para la limpieza del sistema, para visitas sin ordeño o para mantenimiento (Castro et al. 2012).

Consideramos pues de gran importancia, y es el objetivo de nuestro trabajo disponer de datos de los tiempos de trabajo y operaciones que condicionan la capacidad el sistema, cuyo dato es imprescindible para evaluar y mejorar la capacidad de amortización del sistema.

## 2. Material y Método

Los datos fueron obtenidos de una explotación con 64 vacas en ordeño por medio de un sistema de ordeño robotizado (SOR) Astronaut A4 (Lely Industries N.V., Rotterdam, the Netherlands). El establo está formado por tres filas de cubículos con dos pasillos para el movimiento del ganado y un pasillo de alimentación lateral. El robot se encuentra posicionado en una de las cabeceras del establo (figura 1).

**Figura 1: Esquema de la explotación**

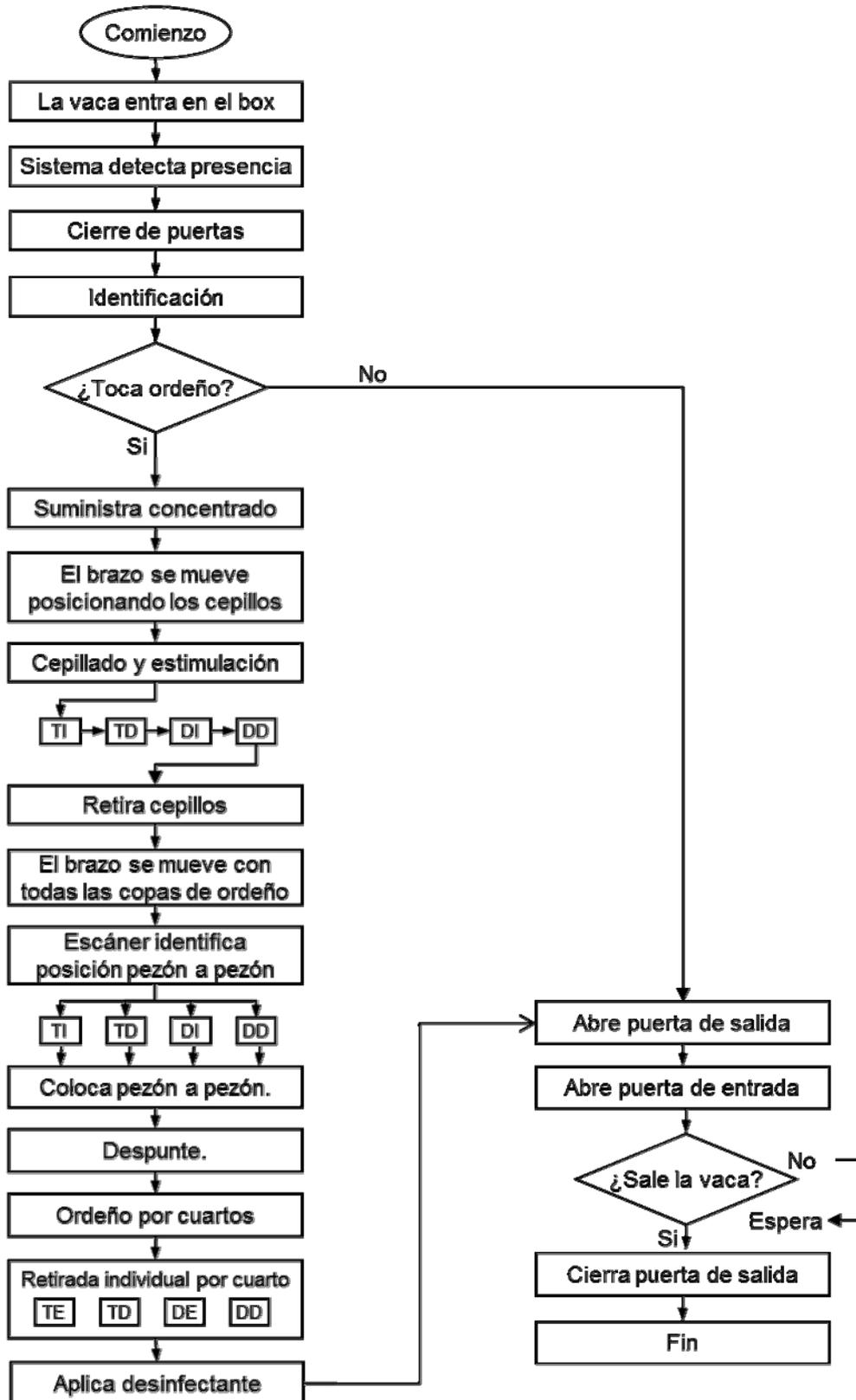


Se instaló un sistema de video-grabación continuo, formado por un DVR de 1TB de capacidad y tres cámaras de vídeo 600 TVL en color, lente fija abierta de 3.6mm, visión nocturna de hasta 20 metros (24LED) y carcasa de aluminio IP66. Las cámaras se ubicaron en tres posiciones diferentes, de forma que se pudiese ver y analizar el proceso desde tres puntos de vista diferentes. Se sincronizó el reloj del DVR con el del software T4C que controla el robot y se comienza con el registro de imágenes y datos. En el momento de proceder a la retirada del sistema de videograbación se generó una copia de seguridad con todos los datos de ordeño del sistema. Finalmente los vídeos son analizados utilizando la aplicación Player MFC (figura 2), de forma que el proceso de ordeño se desglosa en una serie de hitos, reflejados en un diagrama de flujo (figura 3).

**Figura 2: Visualización simultánea del proceso de ordeño desde tres puntos de vista diferentes**



Figura 3: Visualización simultánea del proceso de ordeño desde tres puntos de vista diferentes



A partir del registro de los tiempos en los cuales se suceden cada uno de los hitos reflejados en el diagrama de flujo es posible determinar las principales variables de funcionamiento cuyos términos y definiciones (según ISO 3918:2007) son referenciados en la tabla 1, para ello se confeccionó una base de datos implementada en Microsoft Access en la cual se almacenaron los registros de los tiempos de 164 ordeños. Un conjunto de variables no definidas en ISO 3918:2007 fueron contempladas por considerar que podían tener influencia sobre el tiempo de ocupación del robot y/o en el proceso de colocación de la unidad de ordeño (pasos, patadas, producción y flujo). Se identificaron como pasos los movimientos de la pata del animal en los cuales el casco se eleva del suelo ligeramente, sin sobrepasar la altura correspondiente al nacimiento del casco. Se consideró patada cuando el movimiento se realiza de forma brusca y violenta sobrepasando claramente la altura correspondiente al nacimiento del casco.

**Tabla 1. Descripción de las variables consideradas**

<b>Definición</b>	
<b>Variable</b>	Definidas según ISO 3918:2007
<b>RPC</b>	Índice o ratio de pezoneras colocadas (nº colocaciones/nº intentos).
<b>TPO</b>	Tiempo de procesado de ordeño (desde que un animal identificado es aceptado para ordeñarse hasta que es liberado).
<b>TTM</b>	Tiempo total de máquina en ordeño. (Desde que la primera pezonera es colocada hasta que la última es retirada. En inglés Total Machine-on Time
<b>TCP</b>	Tiempo de colocación por pezonera. (Desde que se inicia colocación hasta que se coloca con éxito. TE (trasera izquierda), TD (trasera derecha), DE (delantera izquierda), DD (delantera derecha)
<b>TPRE</b>	Tiempo de pre-ordeño. Desde que se identifica la vaca hasta el comienzo de la colocación de la primera pezonera
<b>TLP</b>	Tiempo de limpieza de pezones (duración del proceso de limpieza).
<b>TDC</b>	Tiempo de demora en la colocación (duración desde el comienzo del estímulo, limpieza p.ej. hasta la primera colocación con éxito).
<b>TCU</b>	Tiempo de colocación de la unidad de ordeño. Duración desde el inicio de la colocación de la primera pezonera hasta la colocación con éxito de la última
<b>TPOS</b>	Tiempo de post-ordeño. Desde que se retira la última pezonera hasta que se libera el animal.
Variables no definidas en ISO 3918:2007	
<b>TM</b>	Tiempo de manejo. $TM = TPRE + TCU + TPOS$
<b>PSL</b>	Número de pasos durante el proceso de limpieza
<b>PSC</b>	Número de pasos durante el proceso de colocación
<b>PSO</b>	Número de pasos durante el proceso de ordeño
<b>PST</b>	Número de pasos durante la totalidad del tiempo de estancia en el box de ordeño
<b>PTL</b>	Número de patadas durante el proceso de limpieza
<b>PTC</b>	Número de patadas durante el proceso de colocación
<b>PTO</b>	Número de patadas durante el proceso de ordeño
<b>PTT</b>	Número de patadas durante la totalidad del tiempo de estancia en el box de ordeño
<b>PO</b>	Producción de leche por ordeño (kg)
<b>FO</b>	Flujo de ordeño. $FO = PO / TTM$ (kg/min)

### 3. Resultados y Discusión

El análisis de los estadísticos descriptivos del conjunto de variables consideradas (tabla 2), muestra que el éxito en la colocación, medido por el ratio de pezoneras colocadas (RPC), fue cercano al 90%, algo inferior al indicado por Bach and Busto (2005), que encontraron tasas del 92,4%, e idéntico valor al encontrado en estudios previos para un modelo de SOR VMS (DeLaval, Tumba, Sweden), por Castro et al, (2013). Diversos factores pueden incidir en este índice, aspectos relacionados con la tranquilidad o el comportamiento de la vaca durante la colocación (por ejemplo movimientos continuos durante el proceso de colocación

o patadas), o las características físicas de los animales, como el tamaño de la ubre o la inserción de los pezones los cuales pueden ser factores limitantes en SOR (Bouilly 2000). La pequeña diferencia encontrada con respecto a los estudios previos parece indicar que las vacas con características morfológicas limitantes han sido descartadas en las explotaciones con SOR.

**Tabla 2. Estadísticos descriptivos de las variables operacionales en sistemas de ordeño robotizado (SOR)**

Variables		Media	Intervalo de confianza para la media al 95%		DS.	Min	Max
			L. Inf.	L. Sup.			
RPC	mm:ss	,89	,87	,91	,14	,40	1,00
TPO	mm:ss	07:01	06:43	07:20	01:57	03:32	13:03
TTM	mm:ss	05:59	05:40	06:17	01:56	02:28	11:44
TPRE	mm:ss	00:29	00:29	00:30	00:01	00:16	00:35
TLP	mm:ss	00:22	00:22	00:22	00:01	00:16	00:26
TDC	mm:ss	00:45	00:43	00:47	00:11	00:31	01:35
TCU	mm:ss	01:13	01:01	01:24	01:12	00:20	08:14
TCPDD	mm:ss	00:05	00:04	00:05	00:03	00:02	00:21
TCPDI	mm:ss	00:05	00:04	00:06	00:04	00:01	00:39
TCPTD	mm:ss	00:10	00:08	00:11	00:11	00:02	01:11
TCPTI	mm:ss	00:17	00:15	00:18	00:08	00:02	00:51
TPOS	mm:ss	00:10	00:09	00:10	00:01	00:02	00:19
TM	mm:ss	01:52	01:41	02:03	01:11	00:59	08:46
PSC	num.	2,14	1,55	2,73	3,778	0	26
PSO	num.	5,18	4,42	5,94	4,865	0	26
PST	num.	8,71	7,54	9,89	7,498	0	52
PTL	num.	,44	,21	,67	1,461	0	10
PTC	num.	,13	,04	,22	,586	0	5
PTOPP,	num.	1,48	,97	1,99	3,237	0	22
PTT	num.	2,05	1,38	2,72	4,299	0	33
PO	kg	14,43	13,77	15,09	4,22	3,90	32,00
FO	kg/min	2,65	2,47	2,83	1,14	,65	6,58

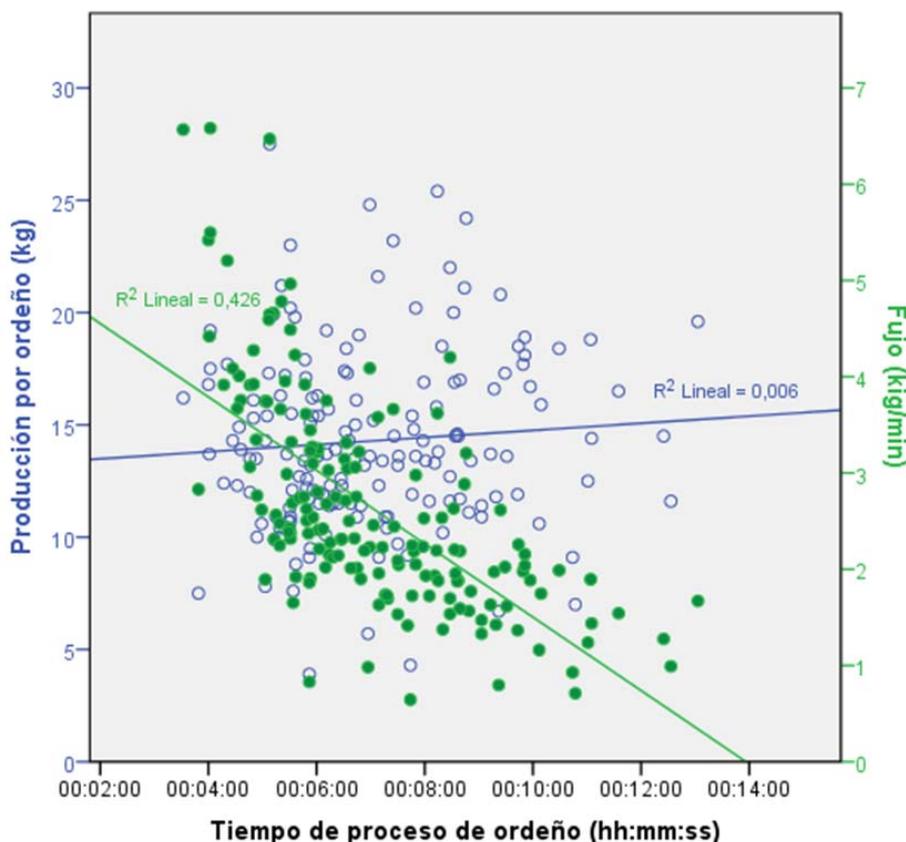
El TPO medio es de 7:01  $\pm$  1:57 superior a los 5,66 minutos apuntados por de Koning and Ouweltjes (2002), pero con una producción por ordeño sensiblemente inferior, 8 kg frente a los casi 14,5 kg de nuestra explotación. Son diversas las variables que tienen repercusión

sobre el tiempo de proceso de ordeño, no solo la producción, puesto que el TPO no es más que el resultado de contabilizar los diferentes tiempos del proceso.

El tiempo de preparación (TPRE) no parece que pueda tener gran influencia en la duración del TPO ya que es bastante constante (homogéneo), y su duración no es elevada  $29 \pm 1$  s, lo mismo podemos indicar para el tiempo de post-ordeño  $10 \pm 1$  s. El TCU muestra mayor variabilidad, con un valor medio de  $1:13 \pm 1:01$  y un rango que va desde los 20 s a los 8 min y 14 s, condicionado por aspectos de comportamiento del animal y por las características morfológicas de la ubre. El tiempo de manejo  $01:52 \pm 01:11$  es inferior al apuntado por deKoning and Ouweltjes, 2002 ( $2.23 \pm 0.83$ ), lo que vendría a reflejar la incidencia de las mejoras en la rapidez de detección y colocación que han sufrido los SOR en los últimos años. Esta reducción en los tiempos de manejo puede no parecer importante en términos absolutos, pero si lo fijamos en términos porcentuales representa una nada desdeñable reducción del 22%. Aplicando la misma metodología de medición para un SOR VMS (DeLaval, Tumba, Sweden) se observó un TM de  $2:12 \pm 0:48$  (Castro et al, 2013), lo cual apunta a una menor velocidad de manejo para los SOR que utilizan una copa individual de lavado para el proceso de limpieza frente a los sistemas que utilizan cepillos rotativos, no obstante el TPO reportado para ese mismo caso fue de  $07:12 \pm 1:55$  min, valores prácticamente idénticos a los observados, aunque con producciones por ordeño de 11,6 Kg.

Así pues la mayor parte del TPO es empleado en la extracción de la leche (TTM =  $05:59 \pm 01:57$  min), dependiendo este de la producción y del flujo de leche. En la figura 4 podemos observar la clara correlación ( $R^2 = 0,426$ ) con el flujo aunque no podemos decir lo mismo en relación a la producción ( $R^2 = 0,006$ ).

**Figura 4: Dependencia de la duración del proceso en relación al flujo y la producción por ordeño**



Para aclarar el grado de relación de los diferentes factores con el TPO se realizó un análisis de regresión lineal múltiple por pasos sucesivos. Las variables entran en el modelo cuando la probabilidad de F es  $\leq 0,05$ , los resultados resumen (tabla 3), muestran que las variables que resultan estadísticamente significativas para predecir la duración del proceso de ordeño son el flujo, la producción, el número de pasos durante el ordeño y el índice de colocación. Las variables producción y flujo explicarían por si solas prácticamente el 80% de la variación de la duración del proceso de ordeño y aunque las variables PSO y RPC resultan ser significativas explicarían tan solo el 1,5% de la variación, de forma que su inclusión en el modelo sólo conseguiría elevar el % de explicación al 81,5%.

**Tabla 3. Resumen del modelo de regresión lineal múltiple**

**Resumen del modelo<sup>o</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,659 <sup>b</sup>	,434	,430	0:01:28	
2	,895 <sup>c</sup>	,801	,798	0:00:52	
3	,902 <sup>d</sup>	,814	,810	0:00:50	
4	,905 <sup>e</sup>	,820	,815	0:00:50	1,720

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	938835,962	1	938835,962	120,243	,000 <sup>b</sup>
	Residual	1225827,221	157	7807,817		
	Total	2164663,182	158			
2	Regresión	1733989,691	2	866994,845	314,046	,000 <sup>c</sup>
	Residual	430673,492	156	2760,728		
	Total	2164663,182	158			
3	Regresión	1761767,953	3	587255,984	225,926	,000 <sup>d</sup>
	Residual	402895,229	155	2599,324		
	Total	2164663,182	158			
4	Regresión	1774862,079	4	443715,520	175,300	,000 <sup>e</sup>
	Residual	389801,103	154	2531,176		
	Total	2164663,182	158			

a. Variable dependiente: TPO

b. Variables predictoras: (Constante), FO

c. Variables predictoras: (Constante), FO, PO

d. Variables predictoras: (Constante), FO, PO, PSO

e. Variables predictoras: (Constante), FO, PO, PSO, RPC

#### 4. Conclusiones

El uso de cámaras digitales resultó útil para determinar el comportamiento de las vacas durante el ordeño, determinar la eficacia e incidentes en la colocación, y para determinar los tiempos empleados en la realización de los diferentes procedimientos en sistemas robotizados. El índice de colocación de las pezoneras resultó muy cercano al 90%. La duración media de todo el proceso de ordeño fue de 7:01 minutos, del cual 1:52 minutos se corresponde con el tiempo total de manejo que el sistema necesita para realizar la limpieza, la colocación de la unidad y el sellado. El tiempo medio dedicado por el sistema a la colocación de la unidad de ordeño fue de 1:13 minutos, sin embargo las únicas variables que resultaron ser estadísticamente significativas con respecto a la duración total del proceso fueron, por orden de importancia, el flujo, la producción, los pasos durante el ordeño y el índice de pezoneras colocadas. La variables flujo y producción explican por si solas el 80% de la variación en la duración del proceso de ordeño, y otras variables que a priori parecía podían ser relevantes como el tiempo empleado en la colocación de las unidades finalmente no fueron estadísticamente significativas.

#### 5. Referencias

- Bach, A., and Busto, I. (2005). Effects on milk yield of milking interval regularity and teat cup attachment failures with robotic milking systems. *Journal of Dairy Research* 72, 101-106.
- Bouly, J. (2000). Selección de rasgos de la ubre y prioridades de selección bajo sistemas de ordeño robotizado. *Frisona Española* 118, 94-96.
- Castro, A., Pereira, J.M., Amiama, C., and Bueno, J. (2012). Estimating efficiency in automatic milking systems, *Journal of Dairy Science* 95, 929-936.
- Castro, A., Pereira, J.M., Amiama, C., Bueno, J. 2015. Typologies of dairy farms with automatic milking system in northwest Spain and farmers' satisfaction. *Ital J Anim Sci* vol. 14:2015.
- Castro, A., Pereira, J.M., Bueno, J. and Amiama, C. (2013). Eficacia de la colocación de pezoneras en sistemas de ordeño robotizado. VII Congreso internacional de agroingeniería y ciencias hortícolas. Madrid.
- De Koning, K., and Ouwetjes, W. (2002). Optimización de la capacidad de ordeño de un sistema de ordeño automático. Ordeño robotizado. Páginas 44-52. Ponencias del simposio internacional celebrado en Lelystad, Países Bajos.
- Hogeveen, H., Heemskerk, K., Mathijs, E., 2004. Motivations of dutch farmers to invest in an automatic milking system or a conventional milking parlour. In: A. Meijering, H. Hogeveen, and C.J.A.M. de Koning (eds.) *Automatic milking; a better understanding*. Wageningen Academic Publ., Wageningen, The Netherlands, pp 56-61.
- Mathijs, E., 2004. Socio-economic aspects of automatic milking. In: A. Meijering, H. Hogeveen, and C.J.A.M. de Koning (eds.) *Automatic milking; a better understanding*. Wageningen Academic Publ., Wageningen, The Netherlands, pp 46-56.
- Salfer, J., Endres, M., Lazarus, W., Mineguishi, K., Berning, B. 2017. Dairy Robotic Milking Systems – What are the Economics?. Available on line in <http://articles.extension.org> . Access data April 2017
- Wade, K.M., M.A.P.M. van Asseldonk, P.B.M. Berentsen, W. Ouweltjes, H. Hogeveen (2004). Economic efficiency of automatic milking systems with specific emphasis on increases in milk production. A. Meijering, H. Hogeveen, C.J.A.M. de Koning (Eds.), *Automatic Milking—A Better Understanding*, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands (2004), pp. 62–67
- Wirtz, N., E. Tholen, H. Spiekers, W. Zaehres, E. Pfeffer, and W. Trappmann. 2004. Vergleich zwischen automatischem und konventionellem melken im Hinblick auf Milchleistung und Futteraufwand. *Züchtungskunde* 76:321–334.