

Entregable 1: Investigación

DAMAVA

22 de septiembre de 2017

1. Indicadores de Desempeño

A continuación en el cuadro 1 se definen los términos utilizados para la clasificación de resultados:

TP	Casos de mastitis subclínica correctamente clasificados
FP	Casos sanos clasificados erróneamente.
FN	Casos de mastitis subclínica clasificados erróneamente.
TN	Casos sanos correctamente clasificados.

Cuadro 1: Clasificación de resultados

Se definen los siguientes estimadores:

$$\text{Sensibilidad} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Especificidad} = \frac{TN}{TN + FP} \quad \text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$\text{Acerto de predicción clase positiva} = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Acerto de predicción clase negativa} = \frac{TN}{TN + FN}$$

2. Antecedentes

Se realizó una puesta al día del estado del arte en detección automática de mastitis por conductividad. A continuación se presenta un breve resumen de los papers más relevantes.

”Analysing serial data for mastitis detection by means of local regression”. Autores: D.Cavero, K.H.Tolle, G.Rave, C.Buxade and J.Krieter

El propósito de este estudio fue evaluar el potencial de detectar mastitis en un sistema automático de ordeño, usando información de la evolución temporal de la conductividad eléctrica de la leche. Los datos de referencia fueron tratamientos (u observación visual) de mastitis clínica y el conteo semanal de células somáticas de todas las vacas. Muestras con SCC por encima de 400 mil células/ml y 100 mil células/ml fueron utilizadas como dos límites, junto con tratamientos para definir casos de mastitis. Las series temporales de la conductividad eléctrica de la leche de los cuartos fueron analizadas para encontrar desviaciones significativas como una señal de mastitis.

Se probó tres métodos estadísticos:

- Un promedio móvil: $Y'_t = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Y_{t-k}$ $N = 10$
- Un promedio móvil ponderado exponencialmente:
 $Y'_t = \alpha Y_{t-1} + (1 - \alpha) Y'_{t-1}$
- Una aproximación por un polinomio de primer orden, localmente ponderada:

Se dio alertas para mastitis cuando la desviación relativa entre el valor medido y el valor estimado excedía un valor umbral dado, expresado como un porcentaje. Los tres métodos dieron resultados similares en términos de sensibilidad, especificidad y tasa de error. La confiabilidad de las alertas variaba con el valor del umbral. Un umbral bajo (3 %) llevó a una sensibilidad de casi 100 %, sin embargo, la especificidad fue tan solo de alrededor de 36 %, y por ende la tasa de error fue alta (alrededor de 70 %). Incrementar el umbral a 7 %, hizo caer la sensibilidad a 70 % y subir la especificidad a 84 %. En este caso la tasa de error se redujo levemente a 60 %. Los tres métodos resultaron en una buena sensibilidad y especificidad para un valor apropiado de umbral, pero también una tasa alta de error. En el presente estudio, el promedio móvil fue el método más simple para detectar mastitis y los otros métodos no presentaron ninguna ventaja.

”Online sensors for earlier, more reliable mastitis detection”. Autores: D.S.Whyte, P.T. Johnstone, R.W.Claycomb an G.A. Mein.

Se investigan los siguientes sistemas de detección de mastitis.

- Ácido láctico. Puesto que las bacterias producen ácido láctico a medida que crecen y se multiplican en la ubre, el ácido láctico es uno de los indicadores más tempranos de infección bacteriana.
- MAA: La respuesta inicial del sistema inmune de la vaca a una infección es la llamada Respuesta de Fase Aguda. Algunas proteínas de fase aguda, como por ejemplo la MAA, son producidas por la ubre.

- SCC: El conteo de células somáticas es muy importante para el manejo de manadas para muchos granjeros.
- Conductividad: La conductividad está más alejada en el espectro causa-efecto. Es un efecto directo del daño de tejido, pero muchas otras cosas aparte de la infección bacteriana también afectan la conductividad. Sin embargo, puede ser utilizada para detectar mastitis si todos los cuartos son medidos durante el ordeño, y estos datos son comparados con los datos previos de conductividad por cuarto de la vaca.

***”Electrical Conductivity of Milk: Ability to predict Mastitis Status”*. Autores: E.Norberg,H.Hogeveen,I.R. Korsgaard, N.C.Friggens,K.H.M.N.Sloth and P.Lovendahl**

En este estudio, varias características de la conductividad eléctricas fueron investigadas por su asociación con la salud de la ubre. Se clasificó vacas como saludables o clínicamente o subclínicamente infectadas, y se midió reiteradamente la conductividad eléctrica durante el ordeño de cada cuarto. Se definió cuatro características de la conductividad eléctrica: El cociente inter-cuarto (IQR) entre los valores más alto y más bajo de conductividad eléctrica, el máximo de conductividad eléctrica de la vaca, IQR entre la variación más alta y más baja de conductividad eléctrica, y el máximo valor de variación de conductividad eléctrica para una vaca. Se calculó valores para estas características para cada ordeño durante toda la lactancia.

Todas estas características incrementaron significativamente cuando las vacas estaban clínicamente o subclínicamente infectadas. Se utilizó una simple prueba de umbral y un análisis de función discriminante para validar la habilidad de estas características de distinguir entre vacas en diferentes grupos de salud.

Las características que reflejan el nivel (en vez de la variación), y en particular el IQR, tuvieron un mejor desempeño para clasificar vacas correctamente. Usando esta característica, 80,6 % de los casos clínicos y 45 % de los casos subclínicos fueron correctamente clasificados. Sin embargo, información extra acerca del estado de salud de la ubre se obtuvo cuando se utilizó una combinación de características de la conductividad eléctrica.

***”Can sensor technology benefit mastitis control”*. Autores: C.J. Rutten, A.G.J. Velthuis, W. Steeneveld and H. Hogeveen**

El desarrollo de sistemas de sensores puede ser descrito utilizando los siguientes cuatro niveles: (1) Técnicas que miden algo acerca de la vaca (por ejemplo conductividad de la leche). (2) Interpretaciones que resumen cambios en los datos del sensor (por ejemplo incremento de la conductividad de la leche), para producir información acerca del estado de la vaca (ej. mastitis). (3) Integración de información donde se complementa la información del sensor con otra información (p.ej información económica) para poder dar consejo (por ejemplo si tratar una vaca o no). (4) El granjero hace una decisión o el sistema de sensores toma la decisión de forma autónoma (p.ej si se descarta leche).

Esta reseña ha estructurado un total de 31 publicaciones desde 2002-2012, describiendo 37 sistemas de sensores para detección de mastitis y los comparó basándose en el sistema de cuatro niveles. Muchos estudios presentaban los sistemas de sensores en los niveles (1) Y (2), y ninguno lo hizo a los niveles (3) y (4). La mayor parte del trabajo de mastitis (92 por ciento) se hace a nivel (2). El desempeño de los sistemas de sensores varía dependiendo de: la elección de estándares (gold standards), los algoritmos utilizados, y los tamaños de las pruebas (números de granjas y vacas). Todavía existe una necesidad de mejorar el desempeño de la detección. No se ha encontrado ningún sistema integrado con ayuda para la toma de decisiones.

***”Evaluation of measurements of the conductivity of quarter milk samples for the early diagnosis of mastitis”*. Autores: H. J. Biggdadike, L. Ohnstad, R. A. Laven, J. E. Hillerton.**

Se realizó medidas de la conductividad de muestras de leche de cuartos en 31 vacas de una manada de 70 vacas en el sureste de Inglaterra, por un período de 15 semanas. A lo largo de este período, 42 % de las semanas-vaca y 20 % de las semanas-cuarto tuvieron un incremento en la conductividad de la leche de 10 % o más respecto a la conductividad de los 14 ordeños previos. Catorce por ciento de las semanas-cuarto tuvieron un incremento de conductividad por encima del 15 %. La media geométrica del conteo de células somáticas fue más alta en semanas-cuarto con un incremento mayor o igual a 10 % que en semanas-vaca con un cambio en la conductividad de menos del 10 %. Con un umbral de conductividad del 10 % o 15 % y un umbral de conteo de células somáticas de 200 mil células/ml o 400 mil células/ml, la especificidad de este sistema estuvo entre un 85 % y 92 % la sensibilidad entre 40 % y 50 %, el valor predictivo negativo entre 87 % y 93 %, y el

valor predictivo positivo entre 35 % y 55 %. El valor predictivo positivo de la conductividad de cada cuarto individual fue demasiado impreciso como para ser utilizado como único criterio para la selección de cuartos para tratamiento antibiótico.

” Online detection of dairy cow subclinical mastitis using electrical conductivity indices of milk”.
Autores: Cheng-Chang Lien, Ye-Nu Wan, Ching-Hua Ting

Este paper tiene como objetivo desarrollar un detector online de mastitis subclínica midiendo la conductividad eléctrica(CE) de la leche por cuarto. Además se mide la temperatura de la mezcla de la leche de cada cuarto. De la serie de CE de cada vaca (obtenida durante el ordeño de la misma) se derivan características. Para etiquetar las muestras¹ se realizan análisis de SCC². Si se obtiene un resultado menor a 200,000 células/ml, se etiqueta a la muestra como sana. En caso contrario, se considera como un caso de mastitis.

Se realiza una descripción mínima del sistema de sensado, comentando a grandes rasgos los componentes del mismo. El enfoque se encuentra en el análisis de datos.

En cuanto a los resultados presentados, obtienen una especificidad de 83,7 % para los cuartos sanos, una sensibilidad del 46,2 % para los cuartos infectados, un acierto de predicción del 90,8 % para los cuartos sanos y un acierto de predicción del 30,7 % para los cuartos infectados. Concluyen que si bien los resultados obtenidos son más bajos que los que obtienen los detectores comerciales(SCC), este sistema permite dar alertas en el tambo. Además, es barato y no utiliza el historial de CE de cada vaca.

” Screening method for early detection of mastitis in cows”. Autores: F.J. Ferrero, M. Valledor, J.C Campo

Este paper se enfoca en el diseño del sensor. Se propone un circuito de bajo costo basado en la medición AC de la conductividad eléctrica de la leche. Se utiliza un puente de Wheastone modificado para minimizar los efectos parasitarios. Se diseñó una celda para la medición de la leche, compuesta por dos electrodos y un cable coaxial. Se mide la temperatura de la leche para compensar sus efectos.

La salida del circuito de medida de conductividad es adquirida por un microcontrolador. Se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento del programa principal. Se adquiere la conductividad de la leche cada un segundo. Una vez obtenida toda la serie de conductividad, se calcula la varianza de toda la serie y la varianza entre cuartos. Si ambas son mayores a determinado umbral se considera un caso de mastitis. Esto se despliega a través de un LCD.

Los resultados presentados están enfocados en el desempeño del circuito de medida. Se obtiene un error de no linealidad del 4,2 % referido al fondo de escala, comparado con un instrumento de medida de CE comercial.

¹Una muestra es la serie de CE de una vaca

²Recuento de células somáticas

Entregable 2: Medidor de Conductividad

DAMAVA

22 de septiembre de 2017

Índice

1. Caracterización de celdas	3
2. Circuito de medición	7
2.1. Oscilador de Wien	9
2.2. Regulador de amplitud de oscilación	13
2.3. Multiplexor analógico	13
2.4. Amplificador de conductividad	14
2.5. Detector de picos	14
2.6. Análisis de resultados	19
2.7. Amplificador de lm35	19
3. Cable de señal y alimentación	20
3.1. Diseño	20
3.2. Testeo de conjunto cable - sensor de conductividad	21
3.3. Testeo de conjunto cable - sensor de temperatura	21
4. Caracterización de lm35	22
5. Referencias	22

1. Caracterización de celdas

Se construyen tres celdas de distintas dimensiones para analizar la dependencia de las dimensiones de la celda con su respuesta en frecuencia. Estas se observan en la figura 1.

Las celdas se encuentran numeradas y sus lados nombrados, distancia entre electrodos (l), ancho (a) y altura (h). En el cuadro 1 se observan las dimensiones de las mismas.

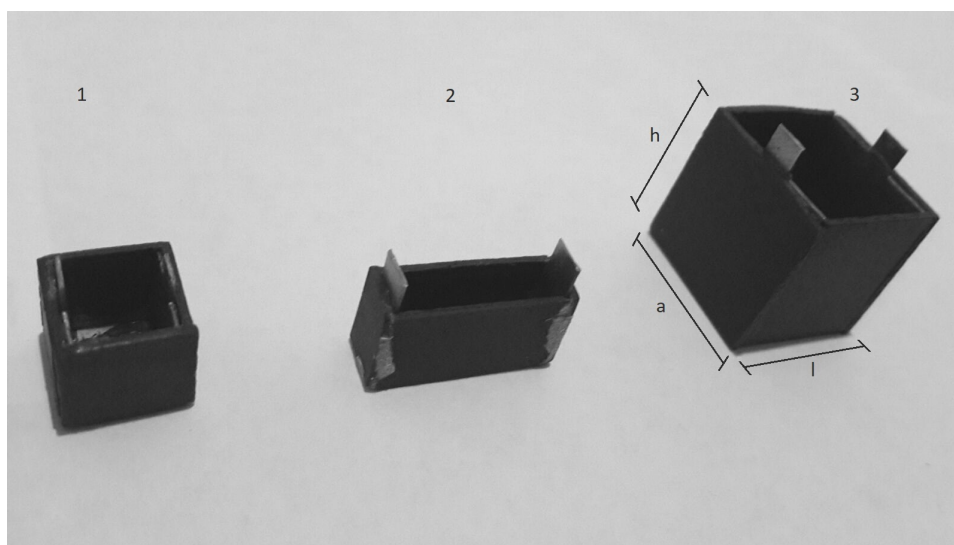


FIGURA 1
Celdas de ensayo

CUADRO 1
Dimensiones de las celdas

Celda	l (cm)	a (cm)	h (cm)
1	0,9	1,0	1,0
2	2,0	0,5	1,0
3	1,9	2,0	2,1

Se construyen las celdas con plástico y los electrodos con placas de acero inoxidable para que los químicos de limpieza no las corroan.

En [1], se modela la celda con el modelo equivalente eléctrico observado en la figura 2, donde C_{pp} es la capacidad placa-placa, C_{pm} es la capacidad equivalente de las dos capacidades placa-leche y R_m es la resistencia de la leche.

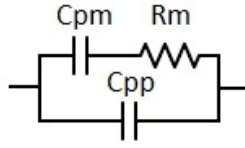


FIGURA 2
Circuito equivalente de celda con leche

La conductividad eléctrica (el inverso de la resistencia) no puede ser medido introduciendo dos electrodos en la solución y aplicando una tensión continua debido a la electrolisis¹. Utilizando una tensión alterna se evita parcialmente este problema[1].

Observando la conductancia y la suceptancia de la celda con leche se aprecia el efecto de la polarización de los electrodos (electrolisis), como se muestra en la figura 3. Lo ideal es trabajar en la zona donde la suceptancia es mucho menor que la conductancia, ésto es equivalente a que la fase de la impedancia de la celda sea mínima.

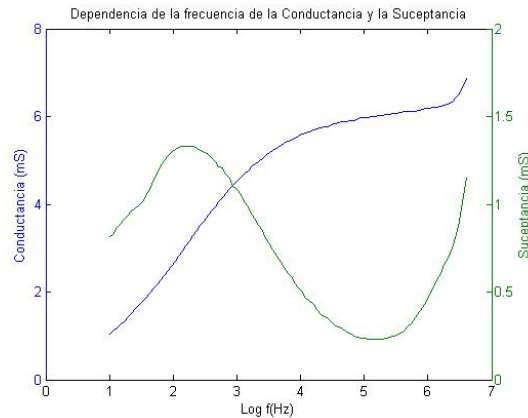


FIGURA 3
Curvas de suceptancia y conductancia para la celda 1 en función de la frecuencia. Curvas obtenidas utilizando el instrumento XXX.

En las figuras 4, 5 y 6 se gráfica el módulo de la Impedancia y la fase de la impedancia en función de la frecuencia para cada una de las celdas.

Al observar las fases de las tres celdas se aprecia un comportamiento principalmente capacitivo a baja frecuencia, un comportamiento resistivo a frecuencia intermedia y nuevamente comportamiento capacitivo a alta frecuencia². Esto se debe a que la capacidad C_{pp} es más chica que la C_{pm}

¹ Proceso que separa los elementos de un compuesto por medio de la electricidad

² Esta separación en tres regiones también se puede observar en la figura 3 al observar

por que en un condensador de placas paralelas, la capacidad es inversamente proporcional a la distancia entre placas³. Entonces como la distancia placa a placa es mucho mayor que la distancia placa leche se tiene que C_{pm} es mucho mayor que C_{pp} .

La impedancia de un capacitor crece al bajar la frecuencia, por lo tanto a frecuencias bajas domina la impedancia de C_{pm} sobre R_m . Además, dado que $C_{pm} \gg C_{mm}$, la impedancia de C_{pm} domina sobre la de C_{mm} . A medida que la frecuencia aumenta empieza a dominar R_m sobre la impedancia de C_{pm} pero dado que el modulo de la impedancia de C_{pp} es mayor que R_m , esta domina sobre dicha impedancia. Para alta frecuencia, la impedancia de C_{pp} se achica lo suficiente que termina dominando sobre R_m .

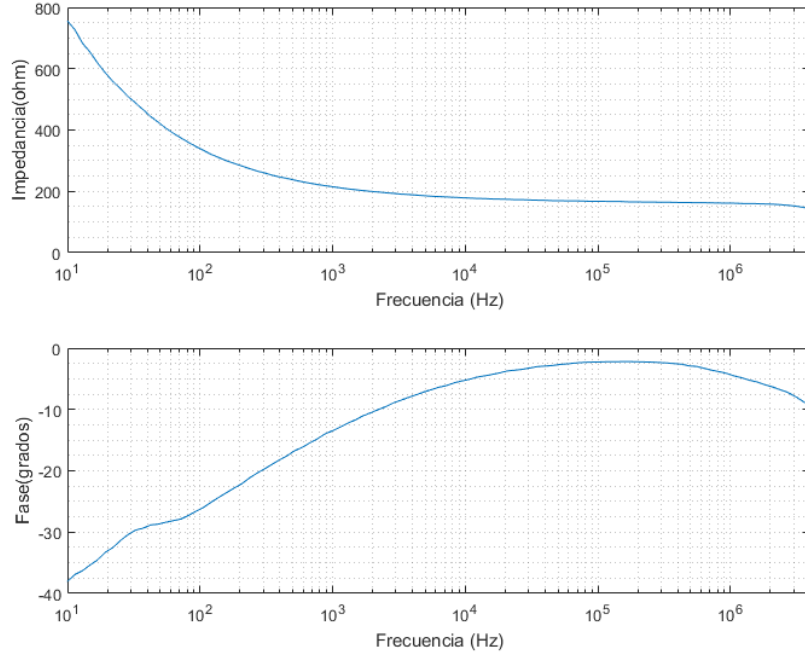


FIGURA 4
Impedancia y fase en función de la frecuencia para la celda 1

la curva de susceptancia.

³ $C = \frac{\epsilon S}{d}$. Se supone que $C_{pm}d_{pm} = C_{pp}d_{pp}$

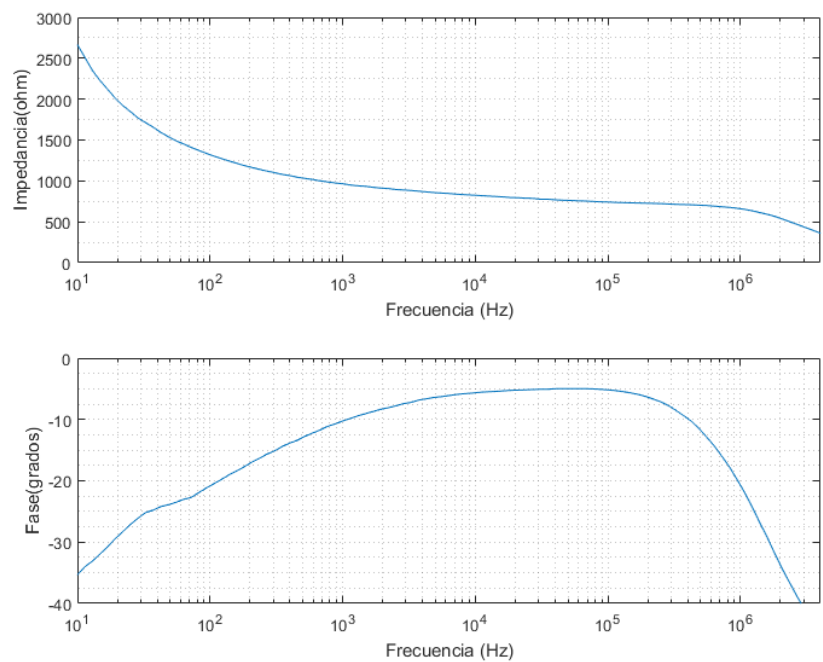


FIGURA 5
Impedancia y fase en función de la frecuencia para la celda 2

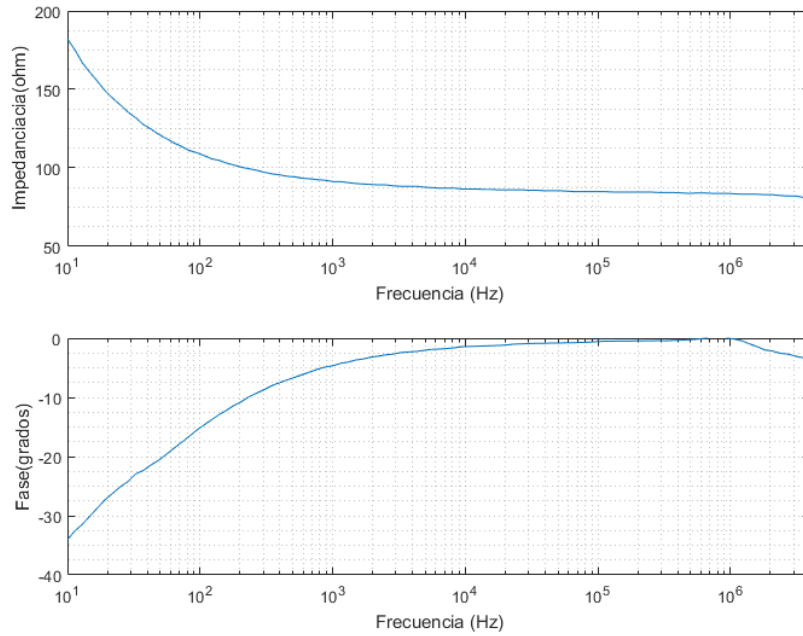


FIGURA 6
Impedancia y fase en función de la frecuencia para la celda 3

2. Circuito de medición

En la figura 7 se presenta el diagrama de bloques de circuito completo. Éste está conformado por un oscilador de Wien para generar la señal sinusoidal de 10kHz, un regulador de amplitud de la señal de salida del oscilador, un multiplexor analógico para no tener que hacer un circuito para cada una de las cuatro celdas, un amplificador de la medida de conductividad, un detector de picos que toma el valor de pico de la señal para que salga un voltaje continuo proporcional a la conductividad, una arduino uno para adquirir los datos y un amplificador del sensor de temperatura lm35. En la figura 8 se presenta el esquemático del circuito completo, en las siguientes secciones se explicará en detalle cada uno de estos bloques.

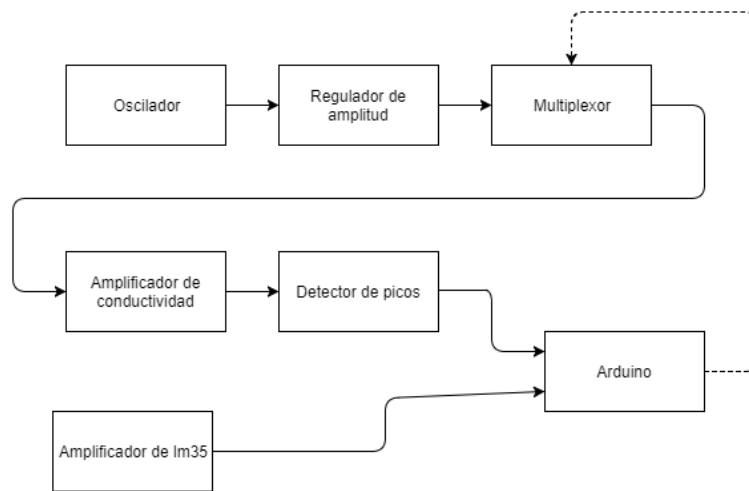


FIGURA 7
Diagrama de bloques del circuito

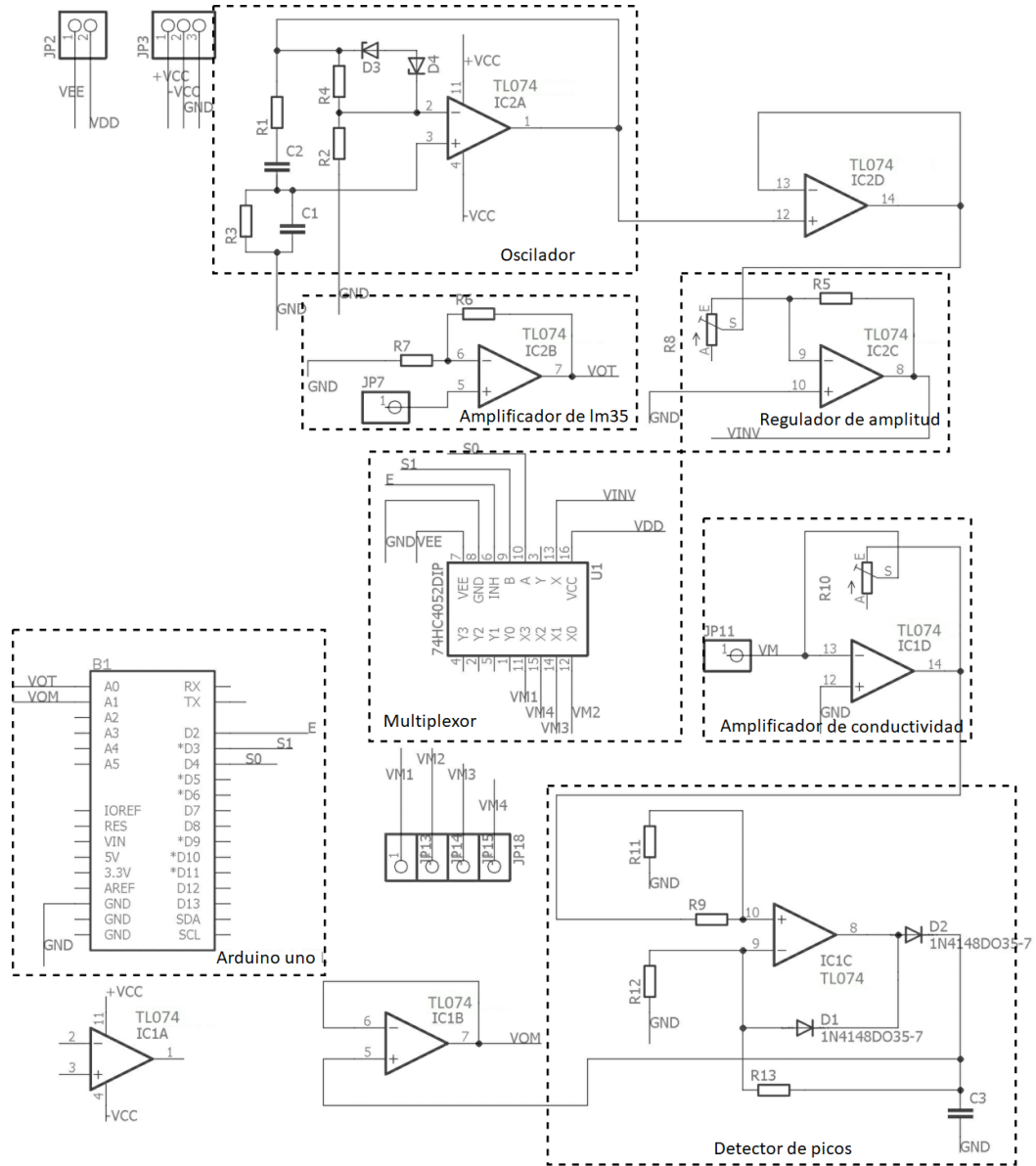


FIGURA 8
Diagrama circuito completo

2.1. Oscilador de Wien

El circuito correspondiente al bloque del Oscilador de Wien diseñado se representa en la figura 9. Donde $R_1 = R_3$ y $C_1 = C_2$

Si inicialmente no se considera la presencia de los diodos, se puede ver que el circuito de la figura 9 se corresponde con un diagrama de bloques como el de la figura 10. El bloque A se corresponde con el recuadro de la derecha de la figura 9 y el bloque $\beta(s)$ se corresponde con el recuadro de la

izquierda de dicha figura.

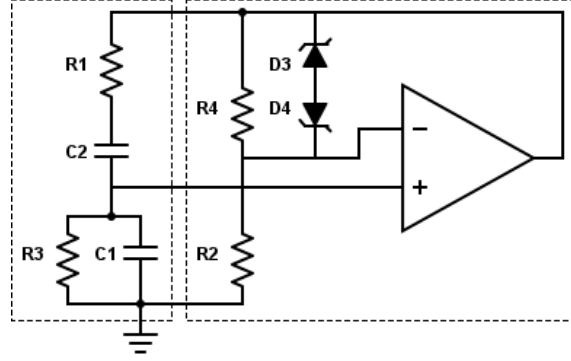


FIGURA 9
Diagrama oscilador de Wien

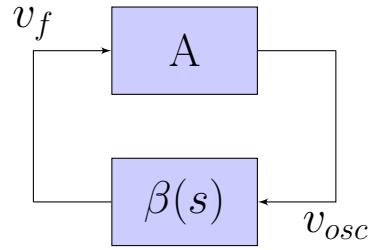


FIGURA 10
Diagrama de bloques del Oscilador

El bloque A es un amplificador no inversor de ganancia:

$$A = 1 + \frac{R_4}{R_2}$$

Por otro lado, el bloque $\beta(s)$ tiene una transferencia dada por:

$$\beta(s) = \frac{\omega_n s}{s^2 + 3\omega_n s + \omega_n^2} \quad \text{donde} \quad \omega_n = 1/R_1 C_1$$

Abriendo el lazo a la entrada del bloque A , tendremos una transferencia en lazo abierto dada por:

$$A \times \beta(s) = \left(1 + \frac{R_4}{R_2}\right) \times \frac{\omega_n s}{s^2 + 3\omega_n s + \omega_n^2}$$

Por criterio de Barkhausen, el circuito va a mantener oscilaciones en régimen únicamente a frecuencias ω para las cuales se cumplen las dos condiciones:

$$(1) : \arg(A \times \beta(j\omega)) = 0$$

$$(2) : |A \times \beta(j\omega)| = 1$$

Evaluando la transferencia en lazo abierto en $s = j\omega$ tenemos:

$$A \times \beta(j\omega) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \frac{j\omega_n\omega}{(\omega_n^2 - \omega^2) + 3j\omega_n\omega}$$

La única frecuencia a la cual se puede cumplir la condición (1) es $\omega = \omega_n$. Evaluando el módulo de la transferencia en lazo abierto en dicha frecuencia, obtenemos:

$$|A \times \beta(j\omega_n)| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times \frac{1}{3}$$

Solamente pueden cumplirse (1) y (2) a la vez si:

$$1 + \frac{R_4}{R_2} = 3 \quad (1)$$

Por tanto, se eligen R_4 y R_2 tales que $R_4 = 2R_2$.

Notamos que para $A = 3$, la única forma de que funcione correctamente el lazo cerrado es con $s = j\omega_n$. Entonces el valor de la frecuencia de oscilación está dado por:

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

Notar que es imposible que la ganancia A sea exactamente 3, por lo tanto es un poco menor o un poco mayor. Si es menor, el oscilador nunca arranca por que la realimentación achica la amplitud hasta que se anula. Si es mayor, el oscilador arranca pero satura, ya que la realimentación agranda la amplitud indefinidamente, por este motivo se agrega los diodos zener en paralelo con R_4 , la idea es que a medida que crece la amplitud, la ganancia A se achique, logrando estabilizar la amplitud en un cierto punto. Como a medida que el voltaje en la resistencia se acerca al voltaje zener, la resistencia del diodo se achica hasta el punto en que la resistencia equivalente del paralelo R_4 - diodo genera una ganancia A menor a 3.

La elección del voltaje zener de los diodos se realizó iterando en la simulación hasta tener una amplitud de 7V la cual corresponde a un voltaje zener de 30. Se realizó simulando y no por medio de cálculos por que la resistencia del diodo depende del modelo real del mismo.

Componentes Seleccionados

Para el bloque $\beta(s)$ se elijen los componentes observados en el cuadro 2. Los mismos se elijen de manera tal que se obtenga una frecuencia del orden de los 10kHz. Con esto en mente, se seleccionan resistencias del orden de los

CUADRO 2

Valores de las componentes para el bloque $\beta(s)$

$R_1(\Omega)$	$R_3(\Omega)$	$C_1(nF)$	$C_2(nF)$
120	120	100	100

ohmios para obtener capacidades del orden de los nano faradios, los cuales son valores estándar en el mercado local.

En el caso del bloque A, se seleccionan dichos valores de resistencia debido a que se disponía de los mismos. Los zenner de 30V que se adquirieron son los FALTA.

CUADRO 3

Valores de los componentes para el bloque A

$R_2(k\Omega)$	$R_4(k\Omega)$	Amp. Op.	Diodos
10	20	TL074	

Simulación del oscilador en *LTSpice*

Se gráfica la simulación del voltaje v_{osc} en régimen en función del tiempo. Dicha gráfica se puede ver en la figura 11.

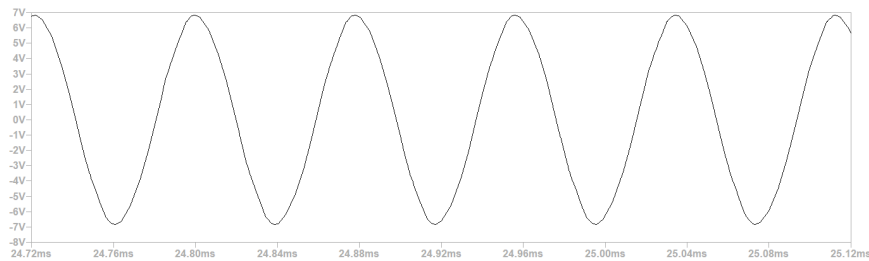


FIGURA 11

Simulación: Voltaje de salida del oscilador

El valor teórico de la frecuencia de oscilación está dado por:

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \Rightarrow f_n = 13,262\text{kHz}$$

El voltaje de salida V_{osc} simulado resultó ser una onda senoidal de frecuencia:

$$f_n^{sim} = 12,41\text{kHz}$$

y amplitud:

$$V_o^{sim} = 6,84\text{V}$$

2.2. Regulador de amplitud de oscilación

Como en el paper [2] para una celda del orden de los centímetros se utilizó 1V de amplitud entre electrodos, se decide tomarlo como referencia. Para bajarlo de 6,84V a 1V se propuso una configuración inversora que deberá tener una ganancia de $\frac{1}{6,84} = 0,146V/V$ por lo tanto se elige $R_5 = 1k\Omega$ y R_8 un preset de $10k\Omega$ para tener la posibilidad de regular la amplitud. En el cuadro 4 se registran los valores de los componentes de este bloque regulador de amplitud.

CUADRO 4

Valores de las componentes para el bloque

$R_5(\Omega)$	R_8 (Preset)(Ω)
1k	10k

2.3. Multiplexor analógico

Se ve la necesidad de utilizar el mismo circuito para medir la conductividad de la leche de cada cuarto de este modo ahorrar componentes y espacio. Para ello se plantea utilizar un multiplexor analógico conectado como el que se muestra en la figura 12, donde R_{mi} son las resistencias equivalentes de cada cuarto de leche.

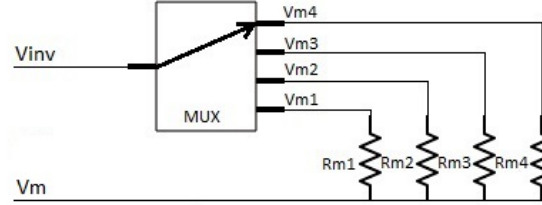


FIGURA 12

Diagrama conexionado del multiplexor

Se necesita un multiplexor que tenga por lo menos cuatro salidas. Como la señal V_{inv} varía entre $\pm 1V$, tiene que poder excursionar entre $\pm 1V$. También se necesita que tenga una resistencia de conducción del orden de los ohm para que sea despreciable frente a la de la leche, por lo que se elige el ADG1604.

En la figura 13 se observa el diagrama de pines del multiplexor. VSS y VDD son la alimentación y fijan los límites de excursión. Según la hoja de datos alimentándolo en $\pm 5V$ la resistencia de conducción es de $1,2\Omega$ máximo, por lo que cumple con los requerimientos.

Se cuenta con dos patas digitales de control ($A0$ y $A1$) para elegir la salida. Una pata digital que conecta o desconecta la entrada (EN). La pata de entrada de señal (D) y las salidas son (Sj).

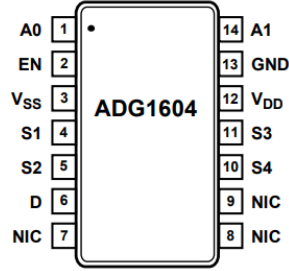


FIGURA 13
Pines del multiplexor

2.4. Amplificador de conductividad

Para poder aprovechar la presicion de la entrada analógica de arduino es deseable que en el máximo esperado de conductividad el voltaje de salida sea el máximo que permite la entrada de arduino (5V).

Los componentes de éste bloque se determinaran más a delante ya que es necesario tener la celda elegida para conocer R_m y poder calcular R_{10} .

2.5. Detector de picos

Diseño

El circuito correspondiente al bloque detector de picos diseñado se representa en la figura 14.

Para los diodos se utiliza el modelo V_γ . Este modelo se resume en el cuadro 5. Ambos diodos son idénticos.

CUADRO 5
Modelo γ diodo

Estado	Hipótesis	Verificación
ON	$v_D = V_\gamma$	$i_D > 0$
OFF	$i_D = 0$	$v_D \leq V_\gamma$

La tensión de entrada es de la forma:

$$v_{in}(t) = A \sin(\omega t) \quad \forall t \geq 0$$

Todas las resistencias R_j son iguales y su valor es R . Se analiza el circuito en etapas. Se estudia el transitorio con D_1 OFF y D_2 ON. En régimen, el circuito funciona en dos etapas, intercalándose entre D_1 ON y D_2 OFF, y D_1 OFF y D_2 ON.

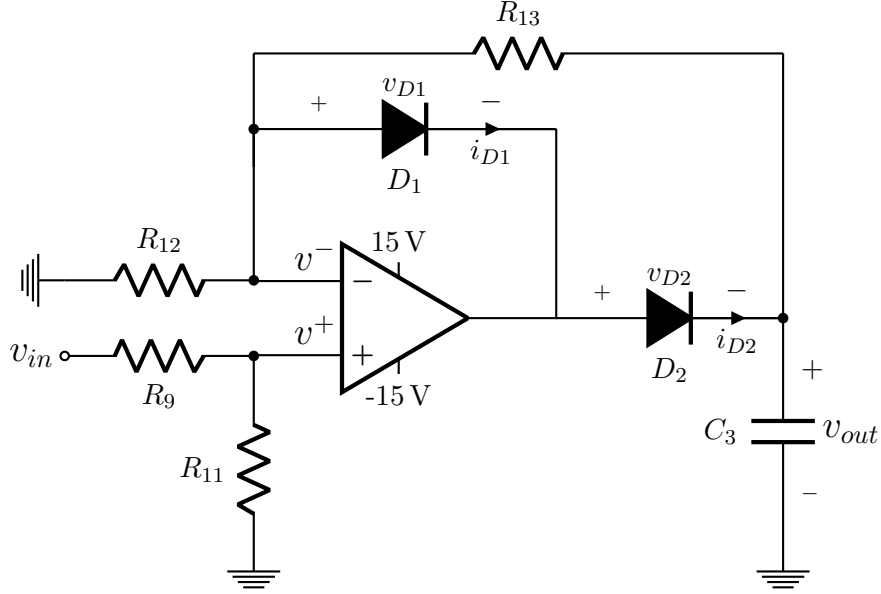


FIGURA 14
Detector de picos

Desde $t = 0$ hasta $t = t_1$

En esta etapa, se supone D_1 OFF y D_2 ON. Estas suposiciones se traducen en lo expuesto en el cuadro 6.

CUADRO 6

Hipótesis y condiciones a verificar en primera etapa.

Desde $t = 0$ hasta $t = t_1$

Diodo	Hipótesis	Condición a Verificar
D_1	$i_{D1} = 0$	$v_{D1} \leq V_\gamma$
D_2	$v_{D2} = V_\gamma$	$i_{D2} < 0$

Dado que por hipótesis $i_{D1} = 0$, se tiene un divisor de tensión entre R_{12} y R_{13} de forma tal que:

$$v^- = \frac{v_{out}}{2}$$

Además, a causa del divisor de tensión formado por R_9 y R_{11} , sabemos que:

$$v^+ = \frac{v_{in}}{2}$$

Por tanto, considerando que hay un cortocircuito virtual ($v^- = v^+$), se tiene:

$$v_{out}(t) = v_{in}(t) \quad \forall t \leq t_1 \quad (2)$$

Donde t_1 es el instante en que deja de cumplirse la condición más restrictiva de las expuestas en el cuadro 6.

Condición para D_1 :

Planteando las caídas de tensión en D_1 , D_2 y C_3 , tenemos:

$$v_{D1} = v^- - (v_{D2} + v_{out})$$

Sabemos que $v_{out}(t) = v_{in}(t)$ y además por hipótesis $v_{D2} = V\gamma$. Sustituyendo en v_{D1} obtenemos:

$$v_{D1} = -\left(\frac{v_{in}}{2} + V\gamma\right)$$

Imponiendo $v_{D1} \leq V\gamma$ se obtiene la condición:

$$v_{in}(t) \geq -4V\gamma \quad (3)$$

Suponiendo que $t_1 < \frac{\pi}{w}$ se tiene que $v_{in} \geq 0$. Por lo tanto, esta condición se verifica.

Condición para D_2 :

Por ley de nodos se tiene que la corriente i_{D2} es la suma de la corriente por el condensador y la corriente por R_4 . Además se impone $i_{D2} > 0$. Entonces

$$i_{D2} = C_3 \frac{dv_{in}(t)}{dt} + \frac{v_{in}(t)}{2R} > 0$$

Por lo que se debe verificar

$$\frac{dv_{in}(t)}{dt} > \frac{-v_{in}(t)}{2RC_3} \Rightarrow Aw\cos(wt) > \frac{-A\sin(wt)}{2RC_3}$$

$$2RC_3w > -\tan(wt) \quad (4)$$

La condición 4 se verifica mientras $t < \frac{\pi}{2w}$. Por lo tanto

$$t_1 = \frac{\pi}{2w} \quad (5)$$

Desde $t = t_1$ hasta $t = \frac{2\pi}{w}$

En esta etapa, se supone D_1 ON y D_2 OFF. Estas suposiciones se traducen en lo expuesto en el cuadro 7.

Al igual que en la parte anterior, se considera un cortocircuito virtual ($v^- = v^+$). Entonces por R_1 circula una corriente:

$$i_3(t) = \frac{v_{in}(t)}{2R}$$

CUADRO 7

Hipótesis y condiciones a verificar en segunda etapa.Desde $t = t_1$ hasta $t = \frac{2\pi}{w}$

Diodo	Hipótesis	Condición a Verificar
D_2	$i_{D2} = 0$	$v_{D2} \leq V_\gamma$
D_1	$v_{D1} = V_\gamma$	$i_{D1} \geq 0$

Al condensador ingresa una corriente de

$$i_c(t) = \left(\frac{v_{in}(t)}{2} - v_c(t) \right) \frac{1}{R} = C_3 \frac{dv_c(t)}{dt}$$

Entonces la corriente que circula por D_1 es

$$i_{D1} = -(i_c + i_3)$$

Se utiliza la transformada de Laplace para resolver la ecuación diferencial lineal de primer orden:

$$\frac{dv_c(t)}{dt} + \frac{v_c(t)}{RC_3} = \frac{v_{in}(t)}{2RC_3} \quad (6)$$

Se utilizan las siguientes transformadas:

$$L[v_{in}(t)] = A \frac{w}{s^2 + w^2}$$

$$L\left[\frac{dv_c(t)}{dt}\right] = sV_c(s) - v_c(t_1)$$

Obteniéndose:

$$V_c(s) = \frac{A}{2} \frac{w}{(s^2 + w^2)(1 + \tau s)} + \frac{\tau v_c(t_1)}{1 + \tau s} \quad \text{con} \quad \tau = RC_3 \quad v_c(t_1) = A$$

Utilizando:

$$L^{-1}\left[\frac{w}{(s^2 + w^2)(1 + \tau s)}\right] = \frac{\tau w e^{-\frac{t}{\tau}}}{1 + (\tau w)^2} + \frac{\text{sen}(wt - \text{argtan}(\tau w))}{\sqrt{1 + (\tau w)^2}}$$

$$L^{-1}\left[\frac{1}{1 + \tau s}\right] = \frac{e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau}$$

Al antitransformar se obtiene:

$$v_c(t) = A \left(\frac{1}{2} \left[\frac{\tau w e^{-\frac{t}{\tau}}}{1 + (\tau w)^2} + \frac{\text{sen}(wt - \text{argtan}(\tau w))}{\sqrt{1 + (\tau w)^2}} \right] + e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

$$i_{D1} = A \left(\frac{Cw}{2} \left[\frac{-e^{\frac{-t}{\tau}}}{1 + (\tau w)^2} + \frac{\cos(wt - \arctan(\tau w))}{\sqrt{1 + (\tau w)^2}} \right] - \frac{e^{\frac{-t}{\tau}}}{\tau} + \frac{\sin(wt)}{2R} \right)$$

Condición para D_1 :

Se tiene que verificar que i_{D1} es positiva para $t > t_1$

En la figura 15 se observa el gráfico de la corriente i_{D1} para $t > t_1$. Esta condición se cumple hasta $t_2 < \frac{5T}{4}$ con $T = \frac{2\pi}{w} = 0,1ms$. El valor de t_2 se obtiene numéricamente. Este es: $t_2 = 0,1221ms$.

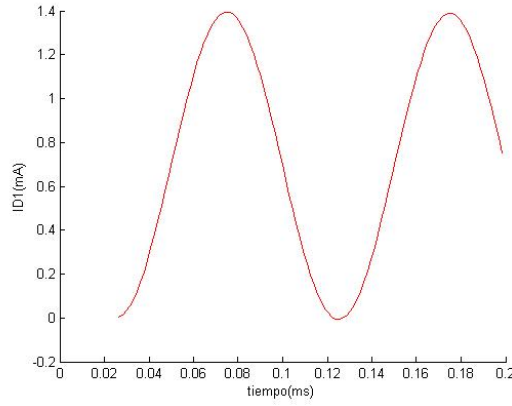


FIGURA 15
Corriente por D1

Condición para D_2 :

Se tiene que verificar que la tensión en bornes del diodo sea menor a V_γ .

Se tiene

$$v_{D2} = v_{amp} - v_c = \frac{v_{in}(t)}{2} - V_\gamma - v_c < V_\gamma$$

$$\frac{v_{in}}{2} < v_c + 2V_\gamma$$

Dado que $T = 10^{-4}$, se elije $\tau = RC = 10^{-2}$ de modo que la descarga del condensador sea menor al 1%. Por lo que se verifica la condición ya que $v_c(t = t_1) = A$.

Entre t_2 y $\frac{5T}{4}$ se vuelve al caso 1.

Componentes seleccionados

Dado que se diseñó $\tau = 10^{-2}$ fijando R en un valor típico por ejemplo $10k\Omega$ se necesita $C_3 = 1\mu F$. Se utilizaron diodos de propósito general 1N4148.

CUADRO 8

Valores de las componentes para el bloque

$R_9(\Omega)$	$R_{11}(\Omega)$	$R_{12}(\Omega)$	$R_{13}(\Omega)$	$C_3(uF)$	Diodos
10k	10k	10k	10k	1	1N4148

Simulación del circuito en *LTSpice*

Se simula el circuito con las componentes vistas en el cuadro 8 y señales de entrada de frecuencia 10kHz. En el cuadro 9 se presenta los resultados de la simulación y el error relativo, se puede obtener un estimador del error del detector de picos realizando un promedio con los mismos $e_{detector} = 2,8\%$

CUADRO 9

Comportamiento detector de picos

$v_{in_pico}(V)$	$v_{detector}(V)$	error (%)
1,0	0,96	3,8
2,0	1,9	3,0
3,0	2,9	2,0
4,0	3,9	2,5
5,0	4,9	2,6

Resultados

Se arma físicamente el bloque y los resultados que se obtiene son los que se presentan en el cuadro 10, se encuentran los valores de pico de la señal de entrada y la salida del detector.

CUADRO 10

Comportamiento del detector de picos

$v_{in_pico}(V)$	0,504	0,950	1,52	2,00	2,50	3,00	3,54	3,96	4,48	5,00
$v_{detector}(V)$	0,480	0,928	1,46	1,92	2,42	2,90	3,42	3,84	4,32	4,84

2.6. Análisis de resultados

En el cuadro 12 se presenta el error relativo calculado para los correspondientes valores del cuadro 10. Si se realiza un promedio con los errores se obtiene un estimador del error relativo del detector de picos:

$$e_{detector} = 3,48\% \quad (7)$$

Como se aprecia es parecido al simulado.

2.7. Amplificador de lm35

Para medir la temperatura se utilizó un lm35 que da una salida lineal de $10mV/^{\circ}C$. La temperatura de la leche en la ubre de una vaca ronda los

CUADRO 11

Error relativo del detector de picos

error (%)	4,76	2,32	3,95	4,00	3,20	3,33	3,39	3,03	3,57	3,20
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

($35^{\circ}C$), entonces la salida sera de $350mV$. Para aprovechar la precisión de la entrada analógica de arduino se agrega una etapa amplificadora de ganancia del orden de $10V/V$. Esta etapa se realiza con un amplificador operacional en configuración no inversora, se elije $R_6 = 100k\Omega$ y $R_7 = 12k\Omega$ por lo tanto la ganancia es $9,33V/V$. Entonces a $35^{\circ}C$ se tiene una salida de $3,27V$.

CUADRO 12

Componentes seleccionados

$R_6(\Omega)$	$R_7(\Omega)$
100k	12k

Resultados

Se calculó la ganancia inyectándole a la entrada una señal de $1,0V$ pico a pico y se obtuvo a la salida una señal de $9,4V$ por lo tanto la ganancia es:

$$G = \frac{v_o}{v_{in}} = 9,4 \quad (8)$$

3. Cable de señal y alimentación**3.1. Diseño**

Debido a las severas inclemencias a las que esta sometido el órgano de ordeño (patadas de vacas y caídas), se propone ubicar el circuito en una zona segura. Por lo que se necesita un cable para transmitir las señales entre las celdas con el circuito y el lm35 con el circuito.

El cable se aferra al caño de leche que va desde órgano hasta el caño principal. Encima del caño principal se ubicará el circuito. Ésta distancia es de ($2,8m$). Por lo tanto con un cable de $3m$ es suficiente.

Se necesita que el cable tenga como mínimo 5 conductores de señal para las celdas y 3 conductores para el lm35.

Se selecciona un cable que cuenta con 8 conductores de $0,25mm^2$ más un conductor de tierra y una malla de aluminio que protege los conductores de campos electromagnéticos externos.

Se procede a calcular la resistencia de cada conductor. Se sabe que la resistividad del cobre a $25^{\circ}C$ es $\rho = 17,1 \times 10^{-9}\Omega.m$, el largo $l = 3m$ y la

sección $S = 0,25 \times 10^{-6} m^2$ entonces:

$$R_c = \frac{\rho \cdot l}{S} = 0,205 \Omega \quad (9)$$

3.2. Testeo de conjunto cable - sensor de conductividad

Se testea el comportamiento del cable con motivo de ver si introduce desfasaje o caída de tensión en la señal. Para ello se conecta en un extremo del cable, entre un conductor y tierra (la tierra va por un conductor y por la maya como se explico anteriormente) una resistencia del orden de R_m . En el otro extremo del cable se inyecta una señal de 1V de pico y 10kHz entre el mismo conductor y tierra. Se observa con el osciloscopio la señal en el extremo del cable. No se encuentra una diferencia apreciable entre las señales generada y la obtenida en el extremo del cable. Por lo que se concluye que no afectan las capacidades ni resistencia del cable.

3.3. Testeo de conjunto cable - sensor de temperatura

Como se menciona anteriormente hay un cable que comunica el lm35 con el amplificador no inversor. Se testea el funcionamiento de este sistema para verificar que el cable no afecte el funcionamiento del mismo. Se prueba y ocurre un inconveniente, aparece superpuesta al voltaje de continua que se quiere medir, una señal de alterna de 28kHz y amplitud del orden del voltaje que se desea medir. En la hoja de datos se menciona que para cargas capacitivas mayores a 50pF el lm35 no funciona correctamente (éste puede ser el motivo ya que se desconoce la capacidad del cable) por lo que se recomienda colocar un capacitor de $1 \mu F$ en serie con una resistencia de 75Ω entre la pata de señal y tierra del lm35, como se observa en la figura 16. Esta conexión permite solucionar el problema.

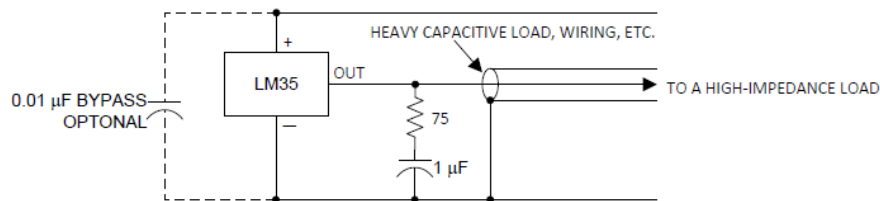


FIGURA 16

4. Caracterización de lm35

Se desea comprobar que el lm35 esté bien calibrado. Para ello se comparó con una termocupla que tiene una exactitud de $0,5^{\circ}C$. Se sumergió ambos en agua a diversas temperaturas. En el cuadro 13 se presentan los resultados.

CUADRO 13
Comparación sensor con termocupla

Termocupla ($^{\circ}C$)	Sensor ($^{\circ}C$)	Diferencia
36.2	36.0	0.2
35.1	34.9	0.2
34.0	34.2	0.2
32.7	32.9	0.2
32.1	32.0	0.1
31.0	30.9	0.1
30.0	29.9	0.1
29.0	29.0	0.0
28.0	28.0	0.0
27.0	26.9	0.1

La diferencia máxima entre medidas es de $0.2^{\circ}C$, lo que está comprendido dentro del margen de exactitud de la termocupla.

5. Referencias

- [1] M. Mabrook and M. Petty, "Effect of composition on the electrical conductance of milk," *Journal of Food Engineering*, February 2003.
- [2] F. Ferrero, M. Valledor, and J. Campo, "Screening method for early detection of mastitis in cows," *Measurement*, October 2013.

Entregable 3: Software de UM

DAMAVA

22 de septiembre de 2017

1. Diseño de software

De acuerdo a la descripción funcional se creo el diagrama de estados que se muestra en la figura 1.

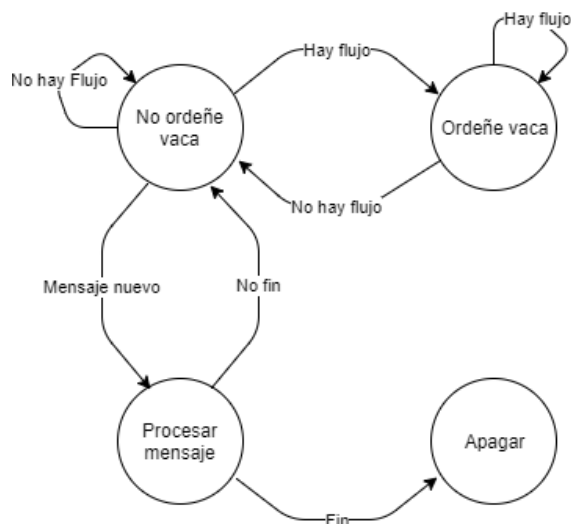


FIGURA 1

Diagrama de estados de software de la UM

La UM enciende en el estado "No ordeñe vaca" estado en el cual se esta preguntando en cada ciclo si hay flujo de leche y cada un cierto tiempo se le pregunta al LecPro si es fin de ordeñe general. Cuando detecta flujo ("Hay flujo") se va al estado "Ordeñe vaca" donde tomará muestras de la leche, se mantiene en este estado mientras halla flujo, cuando no hay más flujo vuelve al estado "No ordeñe vaca". Solo recibirá mensajes del LecPro en el estado "No ordeñe vaca", cuando recibe un mensaje nuevo se va a el estado Procesar mensaje, si el mensaje es fin de ordeñe general ("fin") se va al va al estado apagar donde le enviará los datos al LecPro y se apagará, si el mensaje es "No fin" volvera al estado "No ordeñe vaca".

1.1. Descripción de Módulos

En la figura 2 Se presentan los módulos creados. Las flechas indican que se utilizan funciones del módulo al que apuntan, en las flechas están los nombres de las correspondientes funciones. A continuación se dará una breve descripción de cada módulo.

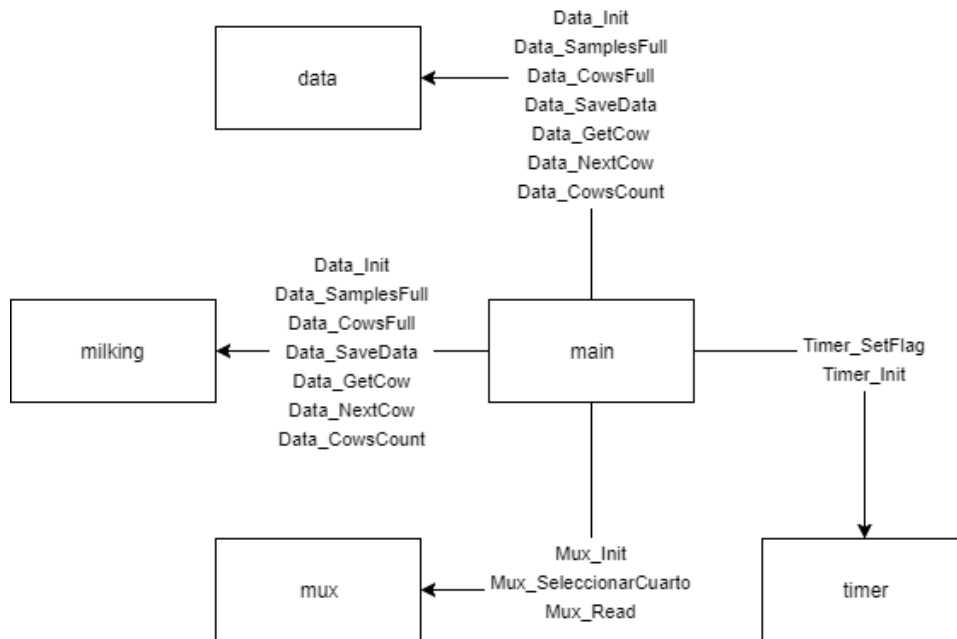


FIGURA 2

Diagrama de módulos. Las flechas salientes indican que se utilizan funciones de otros módulos.

Main

El main se implementó como maquina de estados, donde se creó funciones (*OrdVaca*, *NoOrdVaca*, *ProcesarComando*) que representan los estados. La variable *curr_state* indica en que estado estado se está. Se tiene cuatro eventos que llevan a cambiar de estado o realizar una tarea, los eventos son (*flujo*, *time_out*, *memory_full*, *nuevo_msj*).

Funciones:

- *Setup()*: Ejecuta todas las funciones que inicializan los módulos.
- *OrdVaca()*: Si hay flujo mantiene el estado *ORD_VACA*, levanta y guarda las muestras, si no setea el estado *NO_ORD_VACA*
- *NoOrdVaca()*: Si hay flujo setea el estado *ORD_VACA* si no se queda en el estado *NO_ORD_VACA*. Si viene el evento *memory_full* le avisa al LecPro que tiene la memoria llena. Si viene el evento *nuevo_msj* setea el estado *PROCESAR_COMANDO*
- *ProcesarComando()*: De acuerdo a los comandos que le manda el LecPro setea el estado adecuado.
- *InitState()*: Inicializa la variable *curr_state* en el estado *NO_ORD_VACA*.

- *Command_Read()* levanta los datos que recibió el *HM10*
- *Command_Write()*: carga datos para que mande el *HM10*.
- *Command_Handler()*: Se encarga de mandar al LecPro todas las muestras almacenadas.

Timer

Se desea muestrear los cuatro cuartos y temperatura cada un segundo por lo tanto se tiene la necesidad de usar un timer para que interrumpa cada un segundo.

Funciones:

- *Timer_Init* Se encarga de configurar el timer 1 para que interrumpa cada 1s.

También contiene una rutina de atención a interrupción que setea *flag_adquirir_main*.

Milking

Aquí se implementa la lógica para determinar si se esta ordeñando una vaca o no. Para esto, el modulo cuenta con un buffer circular privado, donde se almacenan las ultimas *TAM_BUFF* mediciones. Los elementos de este buffer son de tipo *measure_t*, éste tipo definido almacena una muestra de conductividad de cada cuarto y una de temperatura.

Funciones:

- *Milking_HayFlujo(State_tystate)* : Indica si hay flujo o no dependiendo del estado en que esté, si está en *ORD_VACA*, va a indicar que no hay más flujo cuando todas las muestras de *buffer_ord* estén por debajo del umbral de conductividad. Si está en el estado *NO_ORD_VACA* se va a indicar que hay flujo cuando todas las muestras de *buffer_ord* estén por encima del umbral.
- *Milking_Adquirir()* : Agrega a *buffer_ord* la muestra actual.
- *Milking_Get()* extrae la muestra mas vieja que contiene *buffer_ord*

Data

Modulo encargado de almacenar las medidas obtenidas durante el ordeño de cada vaca. Para esto cuenta con un buffer unidimensional privado. Cada muestra es un int. Ademas, el modulo cuenta con el puntero pointer, que apunta a la posición donde se almacenara la siguiente muestra. Y la variable

cow, que lleva la cuenta de la cantidad de vacas ordeñadas.

Funciones

- *Data_Init()*: Esta función le asigna al puntero pointer la dirección de inicio del buffer unidimensional.
- *Data_SamplesFull()*: Función que indica si se llega al máximo de muestras permitido por vaca.
- *Data_CowsFull()*: Función que indica si se llega al máximo de vacas que se puede almacenar.
- *Data_SaveData(measure_t)*: Función que guarda en el buffer privado los campos de la variable de tipo *measure_t*.
- *Data_GetCow()*: Esta función devuelve todas las muestras de la última vaca ordeñada. Además, se decrementa en uno la variable cow que indica la cantidad de vacas ordeñadas.
- *Data_NextCow()*: Esta función incrementa la variable cow en uno, y apunta el puntero pointer a la primera muestra de la siguiente vaca.
- *Data_CowsCount()*: Función que retorna el valor de cow.

Mux

Se encarga de manejar los pines de control del mux y leer la entrada analógica.

Funciones

- *Mux_Init()* : Configura los pines digitales que manejan el mux.
- *Mux_SeleccionarCuarto()* : Se le pasa como parámetro el cuarto que se desea adquirir y esta función se encarga de setear los pines digitales correspondientes al cuarto.
- *Mux_Read()* : Lee la entrada analógica de conductividad.