

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Escuela de Ingeniería Mecatrónica**



**Desarrollo de dispositivo dosificador de alimento para ganado lechero**

**Anteproyecto de graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Steve Alberto Mena Navarro**

**2014104192**

**Cartago, julio de 2018**

## Contenido

Contenido.....	2
Declaratoria de Autenticidad.....	3
Entorno del proyecto .....	4
Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa).....	5
Definición del problema .....	6
<i>Generalidades</i> .....	6
<i>Síntesis del problema</i> .....	7
Enfoque de la solución .....	8
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Procedimientos para la ejecución del proyecto .....	11
Cronograma.....	13
<i>Lista de actividades</i> .....	13
<i>Diagrama de Gantt</i> .....	14
Uso de recursos.....	15
Presupuesto .....	16
Referencias .....	18
Anexos .....	19
<i>Anexo A. Carta de Aceptación</i> .....	19
<i>Anexo B. Hoja de información del proyecto</i> .....	21

## **Declaratoria de Autenticidad**

Declaro que el presente Anteproyecto de Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema y asesoramiento técnico de miembros de Consultores en Agrogestión S.A.

Asumo completa responsabilidad sobre el trabajo realizado y por el correspondiente contenido.

Cartago, julio de 2018

Steve Alberto Mena Navarro  
Ced.: 6-0429-0112

## Entorno del proyecto

Consultores en Agrogestión S.A., es una empresa enfocada a proveer soluciones en el campo de la agronomía, la zootecnia, la administración y contabilidad especializados en el negocio lechero. Está dirigida por el Ing., MBA. Héctor León Hidalgo y está ubicada 300 metros sur del antiguo emergencias del Hospital Max Peralta, en la provincia de Cartago. [1]

La empresa se ha puesto la meta de desarrollar un dispositivo electromecánico capaz de medir y dispensar con precisión distintos alimentos para cada animal del hato lechero. Los alimentos se calculan en un software especializado en nutrición bovina.

Dicho proyecto está compuesto por los siguientes subsistemas:

- Desplazamiento del carro.
- Contención de alimentos.
- Medición de alimentos (por masa).
- Mezclado.
- Dispensado.
- Software.
- Alimentación eléctrica.

Actualmente el proceso de alimentación es ejecutado en forma manual por parte de los operarios de las fincas, esto genera imprecisión. A partir de una lista de vacas y sus alimentos, el operario debe utilizar recipientes graduados para medir kilos o gramos y depositarlos en el comedero de cada animal; la deposición del alimento requiere que el operario se agache o lo tire desde su propia altura, lo cual genera esfuerzo y mayor imprecisión.

El principal objetivo de este dispositivo es proveer al mercado de una herramienta que permita eliminar las imprecisiones producto del proceso de alimentación, mejorar el desempeño animal y optimizar los costos de producción de la empresa lechera.

## Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa)

Se encontró que se hace un uso ineficiente de las materias primas en la alimentación de las vacas lecheras. Las causas de este problema se detallan en el diagrama de Ishikawa mostrado en la figura 1.

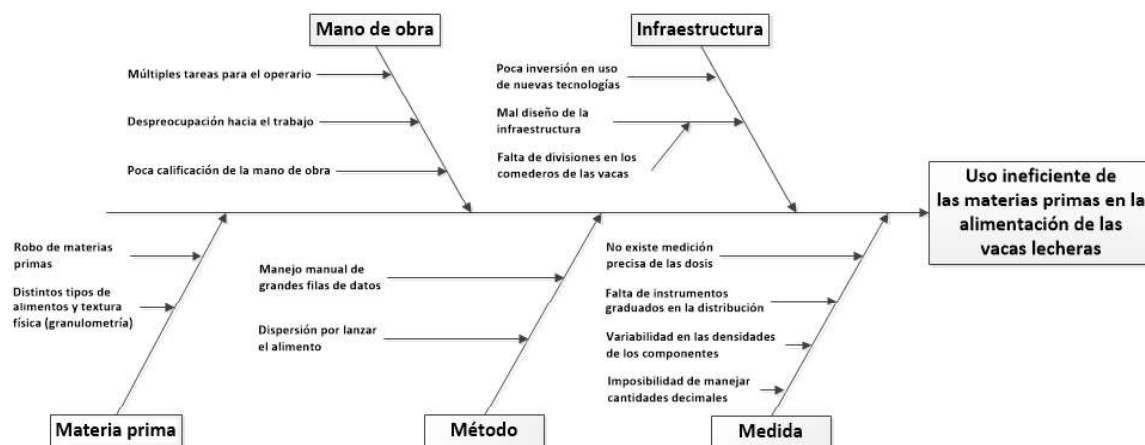


Figura 1. Diagrama Causa - Efecto

## Definición del problema

### *Generalidades*

Mediante visitas de campo se determinó que los **métodos** y las **medidas** son los que generan mayor impacto sobre la problemática. En el caso de los métodos, se requiere que el operario maneje una hoja de papel con múltiples alimentos. Esto provoca que pierda tiempo cada vez que deba consultar la hoja, que lea mal el número de fila o simplemente no la consulte por pereza. Así mismo, la distribución de las dosis se hace con baldes y muchas veces se deposita lanzándola en el aire, lo que provoca pérdidas por dispersión.

En las medidas, los componentes de la alimentación tienen densidades variables debido a su naturaleza orgánica. Esto los hace sensibles a la temperatura y humedad. Actualmente se miden las dosis basado en sus volúmenes con copas graduadas. Sin embargo, midiendo bien el volumen las dosis no es posible asegurar que la masa esté dentro de los rangos de precisión establecidos.

### **Justificación**

La aprobación del tratado de libre comercio eliminará en 2025 los aranceles de importación de la leche [2], lo que creará una fuerte presión sobre el sector lechero nacional, quienes (debido a la globalización) se verán obligados a bajar los costos y ser más competitivos; por tanto, se hace necesario utilizar las herramientas tecnológicas para cumplir dicho objetivo. [3]

Dentro de la estructura de costos en la industria lechera, la alimentación constituye un 51,82% del precio de producción de cada kilogramo de leche. Se estimó que optimizar la eficiencia sobre la alimentación en un 5% para una ganadería de 4,8 vacas en producción por hectárea y con una utilidad neta de \$3 769 por hectárea anuales, mejoraría el margen de utilidades en 2,09%, lo que generaría ganancias de \$407 por hectárea anuales. [4]

El desarrollo de este proyecto permitirá a la empresa estar más cerca del objetivo de construir mencionado dispositivo, que pueda reducir los costos de

alimentación y generar mayores controles sobre el sistema de dosificación y alimentación.

### *Síntesis del problema*

Las materias primas para la alimentación no están siendo utilizadas eficientemente debido a que existen debilidades en los métodos de distribución e imprecisiones en la dosificación por parte de los vaqueros de las fincas.

## Enfoque de la solución

La propuesta de solución se enfoca en la implementación de los sistemas de medición de masa, la interfaz con el usuario, software y el depositado del alimento.

El primer punto de la solución consiste en desarrollar un sistema que permita medir con precisión los alimentos. En total serán 4 tolvas, cada una con diferente capacidad y con diferentes exigencias en la precisión tal como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1: Requerimientos de las dosis para cada tolva y su precisión.**

<b>Materia prima</b>	<b>Tamaño de la dosis (kg)</b>	<b>Precisión máxima requerida (g)</b>
Concentrado	1,0 – 7,0	400
Adicional	0,20 – 2,0	100
Mineral	0,050 – 0,150	10
Levadura	0,0050	2

En la base de cada tolva existirá un tornillo sin fin que se encargará de mover los componentes hasta un sistema de esclusas soportado por células de carga de precisión. La tolva de concentrado y adicional tendrán cada una su propia esclusa, mientras que la levadura y el mineral serán medidas en la misma esclusa. Cada una de ellas tendrá en la parte inferior una compuerta accionada por un servomotor que, al abrirse, dejará caer el alimento cuando se haya alcanzado la masa requerida.

En el momento en que esto suceda, se detendrán los tornillos alimentadores y las dosis de las tres esclusas caerán en un reservorio donde se mezclarán para luego depositarse en el cepo del animal.

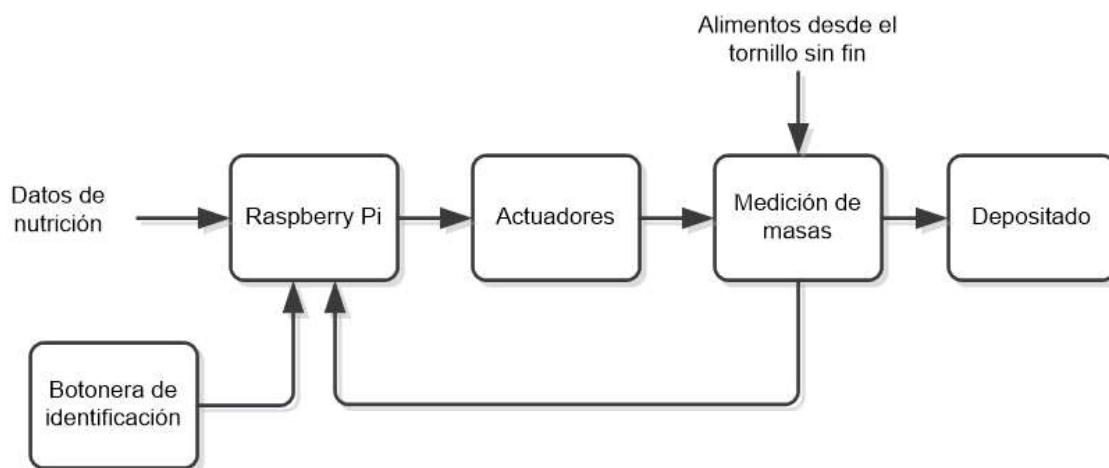
El sistema leerá, mediante un USB, un archivo que contendrá la identificación de la vaca, la cantidad de cada concentrado, materia prima y los aditivos.

El usuario ingresará mediante una botonera el número de identificación de la vaca y presionará un botón de inicio que iniciará con el proceso desde la dosificación y hasta el depositado. La botonera contendrá también una pantalla LCD que mostrará información sobre la cantidad depositada de cada componente, el nivel de carga de la batería y la cantidad de vacas que han sido alimentadas hasta el momento.



Todo el sistema será controlado mediante una Raspberry Pi como CPU central, la cual recibirá los datos de las células de carga, el archivo de nutrición, la identificación de la vaca y enviará las señales de control para los actuadores mecánicos y los datos a la pantalla LCD.

El programa encargado de ejecutar todo el proceso tendrá un mecanismo para verificar que la vaca introducida por el operario exista en el archivo, en caso de no ser así, se mostrará un mensaje de error en la pantalla y se le pedirá al usuario que vuelva a digitar. Si todavía existe un error, el mecanismo dispensará una receta almacenada por defecto en el sistema y mostrará un mensaje en la pantalla advirtiéndole que la vaca no existe en el archivo. Así mismo el programa tendrá un mecanismo que avise cuando un mismo número de vaca ha sido digitado dos o más veces. El sistema completo estará alimentado por baterías.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del proyecto

## Objetivo General

Desarrollar un dispositivo capaz de medir y dispensar una receta de distintos alimentos definidos por los datos de nutrición para la alimentación de una vaca lechera con las precisiones requeridas en un tiempo menor o igual a 30 s.

## Objetivos Específicos

- Implementar un sistema de medición de masas para cada materia prima de la alimentación.

*Indicador:* La incertidumbre de las medidas de masa deben ser estrictamente menores que las precisiones de la tabla 1 en el 90% de los casos para cada materia prima de la alimentación.

- Diseñar el sistema encargado de transportar la materia prima desde donde son almacenados, pasando por el sistema de medida y hasta el cepo del animal.

*Indicador:* Los actuadores ante entradas escalón activadas manualmente deberán depositar la mezcla de todos los elementos en el cepo del animal en el 90% de los casos.

- Elaborar el sistema de control delegado de gobernar el funcionamiento del sistema general.

*Indicador:* Ante una entrada ingresada desde la botonera, con las tolvas vacías e ingresando masa al sistema de medición manualmente, en el 90% de los casos el control deberá abrir las esclusas y apagar los tornillos alimentadores cuando la masa requerida sea alcanzada.

- Integrar el control, el transporte y la medición en el sistema completo.

*Indicador:* Ante una entrada dada por la botonera, con alimento en las tolvas, en el 90% de los casos el sistema deberá depositar en el cepo la mezcla solicitada y deberá cumplir con las tolerancias mostrando las mediciones hechas en la pantalla LCD.

## Procedimientos para la ejecución del proyecto

En este apartado se expone la metodología que se utilizará para desarrollar la propuesta de solución. Se explican, además, las fuentes y sujetos que serán consultados, así como el procesamiento y análisis de los datos.

Durante la elaboración del presente estudio se utilizarán fuentes de información primaria y secundaria, las cuales se exponen en los siguientes párrafos.

Los sujetos de información suministrarán al investigador materia prima para desarrollar su trabajo.

Para esta investigación, los principales sujetos de información que se consultarán serán:

- *Ing., MBA. Héctor León Hidalgo.*
- *Miguel Ángel León Soler.*

Junto a los sujetos de información, el investigador también tendrá acceso a otras fuentes documentales que le permitirán desarrollar su trabajo. Las fuentes primarias que se consultarán serán:

- Fichas técnicas del concentrado, materias primas y aditivos.
- Hojas de datos de los componentes electrónicos.
- Hojas de datos de las células de carga por utilizar.

Así mismo, se consultarán las siguientes fuentes de información secundarias:

- Publicaciones de la cámara nacional de productores de leche.
- Patentes de dispositivos similares.
- Documentos sobre el proceso de nutrición para ganado lechero.

La metodología que se utilizará para la implementación de la solución técnica se detalla en los siguientes párrafos.

El primer paso consiste realizar un análisis de los requerimientos y generar una lista de especificaciones técnicas.

En primera instancia, se diseñará el sistema de medición de masa. Para diseñar las esclusas, se realizará una lluvia de ideas y se seleccionarán tres candidatos. Se seleccionarán células de carga necesarias basado en las

especificaciones. Seguidamente se construirán prototipos en MDF para verificar los conceptos y seleccionar la mejor propuesta de solución.

Completado esto, se adquirirá un tornillo sin fin que será colocado en un tubo cortado por la mitad para poder ser alimentado con las materias primas. Se seleccionará un motor CD de acuerdo con las especificaciones para cada tornillo. Se pondrán a funcionar y se verificarán que las materias primas sean transportadas.

A partir de aquí, se elaborará un circuito electrónico que permita obtener lecturas de la célula de carga en la Raspberry y se verificará el correcto funcionamiento de esta etapa. Se obtendrá un modelo de la planta para cada tornillo sin fin y por último se diseñará e implementará un controlador en tiempo discreto.

Concluido lo anterior, se conseguirá la botonera y la pantalla LCD, estas serán montadas sobre rieles de aluminio. Se escribirán los programas para obtener datos desde la botonera y mostrar información en la pantalla. Al final se verificará el correcto funcionamiento de la botonera presionando números y presentándolos en la LCD.

En este punto se construirán los circuitos impresos necesarios y se unirán todos los fragmentos de código en un único programa. Además, se construirá una caja que contenga todos los componentes electrónicos.

A continuación, se integrarán todas las partes del sistema y se pondrán a funcionar; ajustes o mejoras serán incluidas en esta etapa hasta cumplir con la lista de requerimientos.

Finalmente se diseñará un experimento para validar los requerimientos. Se pondrá a funcionar el dispositivo, se medirá el tiempo transcurrido desde que inicia el proceso de mezcla hasta que se deposita. Los datos obtenidos serán analizados estadísticamente para determinar si el objetivo general ha sido cumplido.

## Cronograma

### *Lista de actividades*

Para cada uno de los objetivos específicos se plantearon actividades que garanticen su cumplimiento. La Tabla 2 muestra el planteamiento de las actividades.

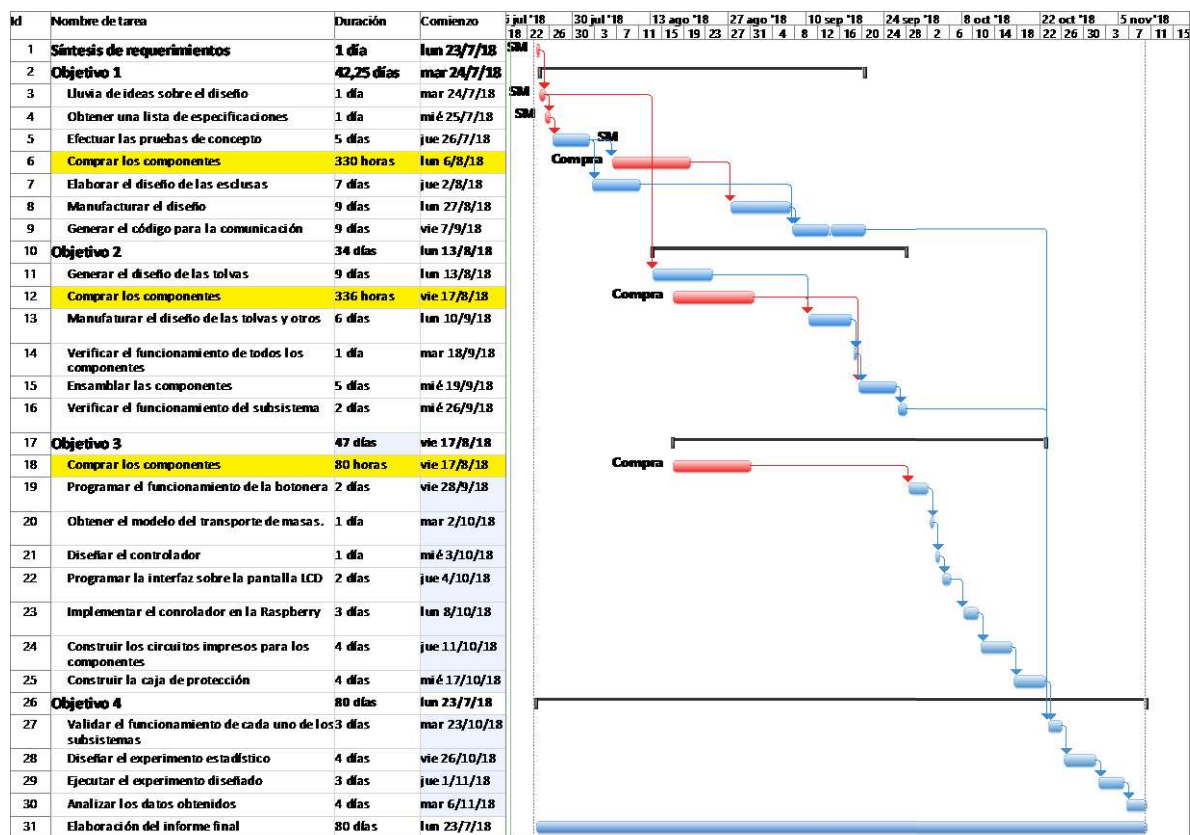
**Tabla 2.** Actividades planteadas por objetivo específico.

Objetivo Específico	Actividad
1. Implementar un sistema de medición de masas para cada materia prima de la alimentación.	1.1. Generar una síntesis de los requerimientos. 1.2. Realizar una lluvia de ideas para las esclusas. 1.3. Efectuar las pruebas de concepto. 1.3. Obtener una lista de especificaciones. 1.2. Elaborar el diseño de las esclusas. 1.3. Comprar los componentes necesarios. 1.4. Manufacturar el diseño. 1.5. Generar el código para la comunicación entre las células y el control.
2. Ensamblar el sistema encargado transportar la materia prima desde las tolvas pasando por el sistema de medida y hasta el cepo del animal.	2.1. Generar el diseño de las tolvas, el tornillo sin fin y el tubo depositador. 2.2. Manufacturar las tolvas y el tubo. 2.3. Conseguir los componentes necesarios. 2.4. Verificar el funcionamiento de los componentes conseguidos. 2.5. Integrar todos los componentes. 2.6. Verificar el funcionamiento del subsistema.
3. Elaborar el sistema de control delegado de gobernar el funcionamiento del sistema general.	3.1. Comprar los componentes necesarios 3.2. Programar la interfaz sobre la pantalla LCD. 3.3. Obtener un modelo de la planta para el transporte de materias primas. 3.4. Diseñar un controlador discreto para el transporte de masas. 3.5. Implementar el controlador en la Raspberry Pi. 3.6. Construir los circuitos impresos para los componentes.

	3.7. Construir la caja de protección para los componentes.
4. Integrar el control, el transporte y la medición en el sistema completo.	4.1. Validar el funcionamiento de cada uno de los bloques. 4.2. Diseñar el experimento estadístico. 4.3. Ejecutar el experimento diseñado. 4.4. Analizar los datos obtenidos. 4.5. Elaboración del informe final.

### Diagrama de Gantt

Tomando como referencia la organización de las actividades realizada anteriormente, en la Figura 2 se plantea un diagrama de Gantt con cada una de ellas.



**Figura 2.** Diagrama de Gantt de las actividades propuestas.

(Ruta crítica marcada en rojo)

## **Uso de recursos**

**Recurso Técnico:** Se recurrirá al asesoramiento del Ing., MBA. Héctor León Hidalgo y Miguel Ángel León Soler.

**Recurso Físico:** Consuagro S.A. será la empresa encargada de proveer los recursos.

**Recurso de materiales:** Las herramientas de desarrollo necesarias serán facilitadas por la empresa.

## Presupuesto

En la tabla 3 se resumen los costos y gastos del proyecto durante sus 16 semanas de duración.

**Tabla 3.** Estimación del presupuesto para el proyecto

Descripción	Cantidad	Valor estimado por unidad (colones)	Subtotal (colones)	Disponible en la empresa actualmente
<b>Materiales y Herramientas</b>				
Células de carga 5 kg	4	28.215	112.860	NO
Células de carga 0,5 kg	4	9.998	39.991	NO
Células de carga 50 g	4	9.998	39.991	NO
Amplificadores y ADC	12	6.242	74.898	NO
Raspberry Pi	1	31.892	31.892	NO
Motor tornillo 5 kg	1	42.932	42.932	NO
Motor tornillo 0.5 kg	1	20.463	20.463	NO
Motor tornillo 20 g	1	13.082	13.082	NO
Motor tornillo 5 g	1	10.260	10.260	NO
Servomotores	3	23.199	69.597	NO
Tuercas y tornillos	1	10.260	10.260	NO
Lámina de acero inoxidable 1m x 2m	2	33.060	66.120	NO
Baterías 12 V 9 Ah	1	18.240	18.240	NO



Pantalla LCD	1	5.694	5.694	NO
Reductor de tensión	1	13.167	13.167	NO
Rieles de aluminio	10	2.822	28.220	NO
Soportes esquineros	30	279	8.379	NO
Cargador de baterías	1	25.080	25.080	NO
Herramientas varias	1	125.000	125.00	NO
<b>Servicios Generales</b>				
Remuneración económica para proyecto de graduación.	4	170.000	680.000	---
Imprevistos	1	125.000	125.000	---
<b>Total</b>			1.566.228	

**Nota:** Los costos de envío de los implementos que necesitan ser traídos desde el extranjero ya están incluidos en el estimado por unidad.

Tal y como es posible observar en la tabla 3, ninguno de los materiales presupuestados está presentes en la empresa. Su adquisición será facilitada por parte de la empresa. Su compra estará a cargo de los responsables de la empresa, ajustándose a los requerimientos del proyecto y a las restricciones económicas que puedan tener. En la sección de servicios generales se encuentran todos los gastos indirectos del proyecto, los cuales de alguna u otra forma son parte del desarrollo del mismo.

## Referencias

- [1] Consultores en agrogestión S.A., «Consultores en agrogestión S.A.» [En línea]. Available: <http://consultoresagroges.wixsite.com/consuagro>.
- [2] M. Barquero, «Pollo, arroz y lácteos entran en ruta a libre comercio con EE. UU.,» *La Nación*, 18 Julio 2015.
- [3] J. Almeyda, «Manual de manejo y de alimentación de vacunos II: Manejo y Alimentación de vacas productoras de leche en sistemas intensivos,» 3 Marzo 2013. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/manual-manejo-alimentacion-vacunos-t29966.htm>.
- [4] H. León, «Eficiencia en la empresa lechera, el costo de producción,» 17 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/eficiencia-empresa-lechera-costo-t40957.htm>.

## **Anexos**

### ***Anexo A. Carta de Aceptación***

Julio 2018

MSc. Marta Vílchez Monge

Coordinador

Proyecto de Graduación

Escuela de Ingeniería Mecatrónica

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Por este medio le comunico que hemos aceptado que el estudiante Steve Alberto Mena Navarro, cédula 6-0429-0112, carné ITCR 201410492, realice en nuestra empresa el proyecto titulado: “Desarrollo de dispositivo dosificador de alimento para ganado lechero” a ejecutarse en un lapso mínimo de 16 semanas calendario.

Hago de su conocimiento que hemos leído y aprobado el Anteproyecto que nos ha presentado el estudiante. Dicho documento cumple con los requerimientos de nuestra empresa, quedando sujeto el inicio del proyecto a la respectiva aprobación de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

La empresa está interesada en impulsar este proyecto, y si se llega a desarrollar, hará todos los esfuerzos posibles por aportar los recursos necesarios para su exitosa conclusión.

*También le comunico que hemos recibido una copia del documento “Normas Generales del Proyecto de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecatrónica del ITCR”.*

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Héctor Adolfo León Hidalgo". The signature is stylized with several vertical strokes and a large, sweeping horizontal stroke at the top. It is positioned above a horizontal line.

<Firma del encargado en la empresa>

Héctor Adolfo León Hidalgo

<Nombre completo del encargado en la empresa>

C.R.C. Consultores en Agrogestión S. A.

<Nombre de la empresa>

Sello de la empresa

## **Anexo B. Hoja de información del proyecto**

### **Información del estudiante:**

**Nombre:** Steve Alberto Mena Navarro

**Cédula:** 6-0429-0112

**Carné ITCR:** 2014104192

**Dirección de su residencia:** 300 m sur del antiguo emergencias del hospital Max Peralta de Cartago.

**Teléfono:** 87594758

**Email:** steve.a.mena@gmail.com

### **Información del proyecto:**

**Nombre del Proyecto:** Desarrollo de dispositivo dosificador de alimento para ganado lechero.

**Área del Proyecto:** Sector lechero.

### **Información de la empresa:**

**Nombre:** Consultores en Agrogestión S.A.

**Zona:** Cartago.

**Dirección:** 300 m sur del antiguo emergencias del Max Peralta.

**Teléfono:** (+506) 4034-6620.

**Sitio Web:** <http://consultoresagrog.es.wixsite.com/consuagro>

**Actividad Principal:** Consultoría agropecuaria especializada en el negocio lechero.

### **Información del asesor en la empresa:**

**Nombre:** Héctor León Hidalgo.

**Profesión:** Ingeniero Agrónomo. **Grado académico:** Máster en administración de empresas con énfasis en dirección empresarial.

**Teléfono:** 8866-0460.

**e-mail:** consultoresagrogestion@gmail.com