

**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, enero de 2019**

## Contenido

Contenido .....	2
Declaratoria de Autenticidad .....	3
Entorno del proyecto .....	4
Diagrama Causa – Efecto (Ishikawa) .....	6
Definición del problema .....	7
<i>Generalidades</i> .....	7
<i>Síntesis del problema</i> .....	8
Enfoque de la solución .....	9
Objetivo General .....	11
Objetivos Específicos .....	11
Procedimientos para la ejecución del proyecto .....	12
Cronograma .....	14
<i>Lista de actividades</i> .....	14
<i>Diagrama de Gantt</i> .....	15
Uso de recursos .....	16
Presupuesto .....	17
Referencias .....	19
Anexos .....	20
<i>Anexo A. Carta de Aceptación</i> .....	20
<i>Anexo B. Hoja de información del proyecto</i> .....	22

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

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

Cartago, enero de 2018

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

## Entorno del proyecto

C.R.C. Consultores en Agrogestión S.A., es una empresa enfocada en 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]

Comentado [SMN1]: Todo correcto

En los negocios de producción lechera el alimento que comen los animales constituye un rubro importante de los gastos [2], a pesar de existir herramientas especializadas que permiten calcular las raciones óptimas (nutrición) tales porciones no siempre se ven reflejadas en el comedero del animal (alimentación).

Esto debido a que dicho proceso 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, esta persona debe utilizar recipientes graduados para medir kilogramos 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.

Con el fin de resolver tal situación esta empresa se ha propuesto el objetivo de desarrollar un dispositivo electromecánico capaz de medir y dispensar con precisión distintos alimentos para cada animal del hato lechero. Las cantidades de cada alimento son calculadas en un software especializado de nutrición bovina.

Por su grado de complejidad dicho proyecto está compuesto por los siguientes subsistemas:

- Contención de los alimentos: corresponde a las partes que guardan los distintos alimentos que sirven de suministro para la preparación de las raciones.
- Dosificación de los alimentos (por masa): encargado de preparar las dosis de cada alimento de acuerdo con los requerimientos de cada animal.
- Dispensado: parte delegada de depositar los alimentos desde la dosificación hasta el sistema de distribución.

- Distribución de los alimentos: sistema encargado de repartir las dosis preparadas para cada uno de los animales.
- Software de control y comunicación: maneja los inventarios de los animales, frecuencia de alimentación, estado de los alimentos, etc.
- Sistema de energía: encargado de suplir de energía al sistema completo.

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 las empresas **lecheras**.

**Comentado [SMN2]:** Todo correcto

## 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.

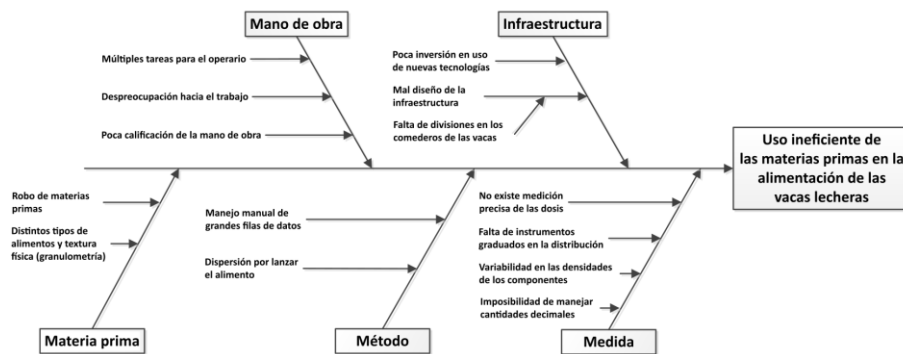


Figura 1. Diagrama Causa – Efecto. Fuente: elaboración propia

## Definición del problema

### Generalidades

Mediante visitas de campo se determinó que los métodos y las medidas son los que generan el mayor impacto sobre la problemática. En el caso de los métodos, se requiere que el operario maneje una hoja de papel con múltiples alimentos y múltiples animales. Esto provoca que la persona pierda tiempo cada vez que deba consultar la hoja, que lea mal el número de fila o simplemente no la consulte del todo por negligencia. 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 basándose en sus volúmenes con copas graduadas. Sin embargo, aun midiendo correctamente el volumen de las dosis no es posible asegurar que el tamaño de la ración 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 [3], 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. [4]

**Comentado [SMN3]:** Dentro de la estructura de costos en la industria lechera, la alimentación constituye, en promedio, un 51,82% del precio de producción de cada kilogramo de leche. Se estimó que optimizar la eficiencia sobre la alimentación en un 5% en 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 en promedio de \$407 por hectárea anuales. [2]

### *Síntesis del problema*

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



## Enfoque de la solución

La propuesta de solución se enfoca únicamente en el diseño y validación de los subsistemas de medición de materias primas y dispensado hacia unos recipientes para luego ser distribuidos a los animales (la distribución no forma parte del proyecto).

El primer punto de la solución consiste en desarrollar un sistema que permita medir la masa de 4 materias primas en dosis de diferentes tamaños y diferentes exigencias de precisión tal como se muestra en la tabla 1.

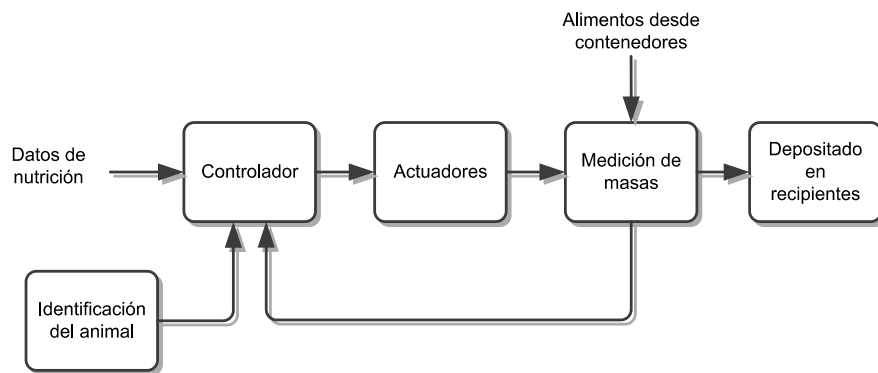
**Tabla 1: Requerimientos de las dosis para cada tolva y su precisión.**

Materia prima	Tamaño de la dosis (kg)	Precisión máxima requerida (g)
Concentrado	1,0 – 7,0	200
Citrocón	0,2 – 2,0	100
Mineral	0,05 – 0,15	10
Levadura	0,005	2

Las materias primas están encontradas en contenedores que deberán ser cargados antes de iniciar con el proceso de dosificado. En la base de cada contenedor existirá un sistema que se encargará de mover los alimentos hasta el sistema de medición. Los dos alimentos principales (concentrado y citrocón según la Tabla 1) serán medidos secuencialmente en una única tolva romana suspendida por células de carga, mientras que los dos alimentos más pequeños (la levadura y el mineral) serán medidos por aparte en recipientes más pequeños suspendidos por celdas de carga de mayor precisión sobre la tolva romana. Las esclusas de los últimos dos alimentos tendrán una compuerta que dejará caer el mineral y la levadura cuando la precisión requerida haya sido alcanzada, sobre la tolva romana donde el concentrado y el citrocón fueron medidos previamente.

El sistema además leerá, mediante una memoria externa, un archivo que contiene la identificación de la vaca junto a las raciones de cada alimento calculados con el software de nutrición. El usuario ingresará el número de identificación del animal y dará la orden de iniciar el proceso de dosificado.

El controlador central 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. El software tendrá un sistema que verifique si el número ingresado existe en el archivo contenido. Un diagrama general de bloques del sistema se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de bloques del proyecto. Fuente: elaboración propia.

## Objetivo General

Diseñar y validar un dispositivo capaz de medir y dispensar una receta de 4 distintos alimentos definidos por los datos de nutrición para la alimentación de una vaca lechera con las precisiones requeridas.

## Objetivos Específicos

- Desarrollar un sistema de medición de masas para los alimentos.

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

- Diseñar el sistema que transporte las materias primas desde los contenedores hasta el lugar donde serán medidos.

*Indicador:* Los actuadores activados manualmente deberán depositar todos los elementos en las romanas de medición en el 90% de los casos.

- Describir la estrategia de control delegado de gobernar el funcionamiento del sistema general.

*Indicador:* En una prueba de concepto, ante un requerimiento de dosis, con los contenedores vacíos e ingresando alimentos a las romanas de medición manualmente, en el 90% de los casos los actuadores deberán ser activados en la secuencia requerida.

## 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.*
- *Ing. 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 de los alimentos.
- Registros de fincas lecheras.
- Hojas de datos de los sensores y componentes electrónicos.

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

- Publicaciones de la cámara nacional de productores de leche (Proleche).
- Patentes de dispositivos similares.
- Documentos sobre los procesos de nutrición y alimentación del 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. Lo primero que será diseñado será el sistema de medición de alimentos. Se realizará una lluvia de ideas y se seleccionarán candidatos los cuales serán valorados para elegir el mejor de acuerdo a criterio ingenieril. Posteriormente se realizarán el diseño de cada elemento para luego proceder con la verificación del diseño mediante herramientas de simulación

mecánica. Finalizado esto, se tendrá que buscar talleres que puedan manufacturar el diseño y proveedores para comprar los componentes mecánicos y electrónicos. Una vez ensamblado el subsistema se procederá a verificar su funcionamiento.

Para el transporte de las masas se plantea utilizar un tornillo sin fin movido por motores eléctricos. Basado en los requerimientos de transporte se generarán especificaciones para cada uno de ellos y se procederá a buscar un proveedor de tales partes. Al mismo tiempo se tendrá que realizar un soporte para los tornillos, y fabricar las piezas para unirlos a los motores. Se verificará el funcionamiento de los mecanismos manualmente.

Se diseñará el software que maneje el archivo con las raciones y se seleccionarán los elementos necesarios para su implementación. Los códigos para la comunicación entre el archivo de raciones y el controlador central serán escritos y verificados.

Completado esto, se diseñarán e implementarán los circuitos electrónicos que permitan la comunicación de los sensores y actuadores con el controlador, así como las cajas de protección contra polvos y humedad típicos en las fincas. Se escribirán los códigos para la comunicación de los sensores y para el control de los actuadores.

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

Finalmente se diseñarán los experimentos para validar los requerimientos. Los datos obtenidos serán analizados mediante herramientas de análisis estadístico para sustentar que el objetivo general haya sido **cumplido**.

Comentado [SMN4]: Redactado

## Cronograma

### *Lista de actividades*

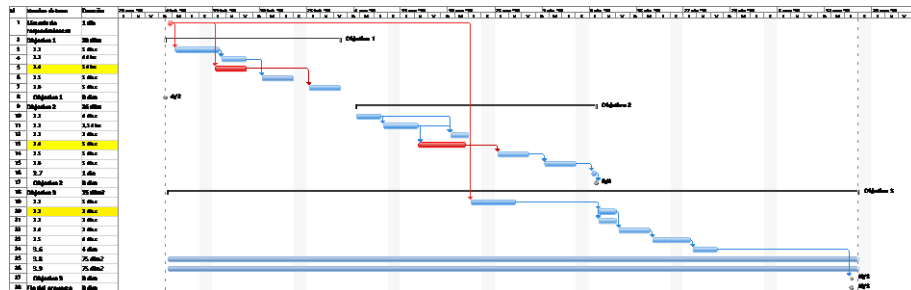
Para cada uno de los objetivos específicos se plantearon actividades que garanticen su cumplimiento. La Tabla 2 muestra el planteamiento de las actividades.

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

Objetivo Específico	Actividad
1. Desarrollar un sistema de medición de masas para cada alimento.	1.1. Generar una síntesis de los requerimientos. 1.2. Diseñar la tolva romana. 1.3. Diseñar las esclusas de medición para el mineral y la levadura. 1.4. Comprar las partes necesarias. 1.5. Construir la tolva romana y las esclusas pequeñas. 1.6. Validar el funcionamiento del subsistema.
2. Diseñar el sistema encargado de transportar las materias primas desde los contenedores hasta unos recipientes.	2.1 Generar el diseño de los contenedores de los alimentos. 2.2 Obtener especificaciones de los tornillos sin fin. 2.3 Diseñar las uniones de los tubos con los contenedores. 2.4 Conseguir las partes y piezas necesarias. 2.5 Manufacturar las partes que no puedan ser conseguidas. 2.6 Ensamblar el conjunto. 2.7 Validar el funcionamiento del subsistema.
3. Elaborar el sistema de control delegado de gobernar el funcionamiento del sistema general.	3.1 Diseñar los circuitos electrónicos necesarios. 3.2 Diseñar los diagramas de flujo de la programación. 3.3 Comprar los componentes necesarios. 3.4 Programar la lectura y verificación del archivo. 3.5 Implementar los circuitos. 3.6 Generar el código para la comunicación entre el controlador, los sensores y actuadores. 3.7 Generar el control para cada uno de los actuadores. 3.8 Realizar entregas parciales. 3.9 Elaboración del informe final.

## Diagrama de Gantt

Tomando como referencia la organización de las actividades realizada anteriormente, en la Figura 3 se plantea un diagrama de Gantt con cada una de ellas.



**Figura 3.** Diagrama de Gantt de las actividades propuestas. Fuente: elaboración propia.  
(Ruta crítica marcada en rojo, compras marcadas en amarillo)

## Uso de recursos

**Recurso técnico:** Se recurrirá al asesoramiento del Ing., MBA. Héctor León Hidalgo Ing. Agrónomo quien aportará conocimiento en el área de producción lechera y administración de insumos para ganaderías y el Ing. Electromecánico Miguel Ángel León Soler, quien aportará conocimiento del área mecánica y eléctrica.

**Recurso físico:** C.R.C. Consultores en Agrogestión 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	30.000	120.000	NO
Células de carga 0,5 kg	4	10.000	40.000	NO
Células de carga 50 g	4	10.000	40.000	NO
Amplificadores y ADC	12	6.300	75.600	NO
Servomotores	3	24.000	96.000	NO
Motor universal	1	50.000	50.000	NO
Motores a pasos	2	24.000	48.000	NO
Multímetro	1	15.000	15.000	SI
Tuercas y tornillos	1	15.000	15.000	NO
Tubo cuadrado de acero	10	13.500	135.000	NO
Soportes esquineros	30	300	9.000	NO
Manufactura de tolva romana	1	200.000	200.000	NO
Herramientas varias	1	250.000	250.000	NO

Material acrílico y MDF	1	50.000	50.000	NO
<b>Servicios Generales</b>				
Remuneración económica para proyecto de graduación	4	170.000	680.000	---
Espacio físico	4	45.000	180.000	SI
Servicio eléctrico	4	6.000	24.000	SI
Servicio de internet	4	6.000	24.000	SI
Mantenimiento computadora	1	50.000	50.000	SI
Manufactura y soldadura de partes	1	300.000	300.000	NO
Servicio de corte láser e impresión 3D	1	200.000	200.000	NO
Imprevistos	1	125.000	125.000	---
<b>Total</b>			2.476.600	

Tal y como es posible observar en la tabla 3, el multímetro, el espacio físico, el servicio eléctrico, internet, mantenimiento de computadora y algunas herramientas están disponibles en la empresa. La adquisición de los implementos necesarios no disponibles actualmente 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] 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>.
- [3] M. Barquero, «Pollo, arroz y lácteos entran en ruta a libre comercio con EE. UU.,» *La Nación*, 18 Julio 2015.
- [4] 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>.

## **Anexos**

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

Noviembre 2018

Ing. Ana Lucía Morera Barquero.

Coordinadora.

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 alimentos 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".*

---

<Firma del encargado en la empresa>

---

<Nombre completo del encargado en la empresa>

---

<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:** Frente a farmacia del Sur, Cartago.

**Teléfono:** 87594758

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

### **Información del proyecto:**

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

**Área del Proyecto:** Sector lechero.

### **Información de la empresa:**

**Nombre:** C.R.C. 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 Adolfo León Hidalgo.

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

**Teléfono:** (+506) 8866-0460.

**e-mail:** [consultoresagrogestion@gmail.com](mailto:consultoresagrogestion@gmail.com)