

Metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque sostenible

Methodology for the design and development of agricultural machinery with a sustainable approach

José Antonio González Marrero¹ (dpagro@ult.edu.cu) (<https://orcid.org/0000-0002-1427-4059>)

Rolando Borrero Rivero² (rolandobr@ult.edu.cu) (<https://orcid.org/0000-0002-2428-3389>)

Resumen

En el artículo se explicita una metodología para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola bajo los principios de tecnologías apropiadas y enfoque sostenible, que consideran en el diseño condicionantes técnicos, tecnológicos, económicos, ambientales y socioculturales de la región donde se utilizará el equipo y que este sea sostenible en el tiempo. De cada fase, etapa o paso de la metodología elaborada, se desarrollan los aspectos teóricos y prácticos fundamentales para su implementación. La misma está basada en la combinación lógica de metodologías desarrolladas por investigadores internacionales y nacionales, considera algunos principios básicos de la reingeniería y el diseño concurrente, así como de la experiencia propia y de otros investigadores e innovadores. En ella también se consideran principios tales como el enfoque sistémico y participativo de todos los actores involucrados en el proceso, los métodos de trabajo en grupo, las técnicas de solución de problemas, el trabajo en grupos multidisciplinarios y los agroecológicos.

Palabras claves: diseño, maquinaria agrícola, medioambiente, sostenibilidad.

Abstract

The article explains a methodology for the design and development of agricultural machinery under the principles of appropriate technologies and sustainable approach, which considers in the design technical, technological, economic, environmental and socio-cultural conditions of the region where the equipment will be used and that it will be sustainable over time. The theoretical and practical aspects of each phase, stage or step of the elaborated methodology are developed, which are fundamental for its implementation. It is based on the logical combination of methodologies developed by international and national researchers, considers some basic principles of reengineering and concurrent design, as well as its own experience and that of other researchers and innovators. It also considers principles such as the systemic and participatory approach

¹ Doctor en Ciencias Técnicas Agrícolas. Profesor Titular. Jefe Grupo CTI. Profesor de Mecanización Agrícola de la carrera Agronomía. Universidad de Las Tunas, Cuba.

² Doctor en Ciencias pedagógicas. Profesor Titular. Profesor del Centro de Estudios de Dirección (CEDIT). Universidad de Las Tunas, Cuba.

of all the actors involved in the process, group work methods, problem-solving techniques, multidisciplinary group work and agroecology.

Key words: design, agricultural machinery, environment, sustainability

Generalidades del diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola

La mecanización se debe desarrollar mediante un proceso de apropiación y adaptación a las condiciones donde se utilizará la maquinaria, teniendo en cuenta los enfoques tecnológicos en la agricultura, la correcta selección y uso de los equipos para evitar efectos degradantes en el medio ambiente, especialmente en el suelo. (Shkiliova y Fundora, 2014, p. 32)

Existen en la actualidad cambios significativos en la visión del diseño dado a la avalancha de las nuevas tecnologías productivas, comunicacionales y de los nuevos adelantos científicos que impone la mecatrónica, robótica, nanotecnologías, ecodiseño y la biónica. (Zaldívar, 2018, p. 19).

Blanco (2018) propone una metodología de diseño de máquinas apropiadas en el ámbito agrícola que incluye un análisis adecuado del contexto al proceso de diseño indicado por las metodologías habituales en ingeniería mecánica, presta especial atención a las fases iniciales del diseño donde proporciona una herramienta que ayuda a los equipos de diseño a documentar el contexto para un diseño apropiado. La metodología incluye las metodologías de fases basadas en cuatro etapas básicas: definición, diseño conceptual, materialización y diseño de detalle, a la cual le incluye en la etapa inicial una Etapa 0 que incluye el análisis de contexto.

Para lograr ser eficientes y obtener resultados innovados con calidad se hace necesario asumir en los proyectos un orden lógico en los procesos reorientado hacia la eficiencia del diseño basado en la síntesis con la que se debe elaborar cada etapa para no olvidar pasos ni agregar momentos innecesarios en el proyecto, donde de manera general se plantea el siguiente orden:

- a) Definición de la tarea, donde se realiza la solicitud del cliente, la entrega de la consulta al cliente, la realización de la consulta. La ejecución del BRIEFING y el contrato económico.
- b) La investigación, donde se hace un análisis de antecedentes y encontramos los fundamentos de partida.
- c) Análisis y conceptualización: Tomándose como guía la estructura del BRIEFING, es decir, los aspectos del mercado, función y uso, expresión del producto y producción.
- d) Desarrollo de variantes, al realizarse una definición de las premisas de diseño, generarse variantes, con pruebas y experimentos, un estudio de materiales, color y textura, seleccionarse alternativas, analizarse la movilidad técnica y productiva, presentación al colectivo técnico, al cliente, seleccionarse la mejor

alternativa y finalmente realizarse el ajuste, la aprobación y la selección definitiva.

- e) Prototipo, donde se realiza la elaboración de la documentación técnica del proyecto, como detalles, muestra de materiales y tecnologías, la confección y presentación al colectivo técnico y al cliente, realizándose una prueba de uso y exposición, así como de ajuste.
- f) Documentación del proyecto: Etapa en la cual se estructura con más detalles, definiéndose con carácter general en documentación teórica, técnica e ilustrada.
- g) Serie cero: pequeña escala de producción que se acomete según interés del cliente, para reunir valoraciones acerca del valor de uso (segunda prueba), valor mercantil (mercado), y reajustes definitivos.
- h) Implantación: Que no es más que la confección de la producción (seguimiento).
- i) Seguimiento: Que se realiza según el alcance del producto en las etapas del prototipo, serie cero e implantación, según el interés del cliente y/o diseñado en un término de tiempo con fines de retroalimentación y/o rediseño del producto creado. Estos elementos se agregan a la documentación del proyecto.

El Briefing es la amplia consulta realizada al cliente, genera una serie de criterios que se obtendrán con un orden para la ejecución posterior del proyecto y es la base del proceso de diseño.

Integración del diseño: Se pueden plantear una serie de elementos donde el diseño tiene que integrarse, pretendiéndose desarrollar proyectos profesionales.

Diseño - Cliente: Importante para el comienzo y desarrollo de un proyecto, es el entendimiento entre el que solicita (cliente) y el diseño, dirigido al conocimiento real de sus necesidades traducibles o no, una idea (diseño) futura, siendo el cliente la persona que utiliza los servicios, el comprador.

Diseño - Usuario: Es la relación directa que de forma precisa debe darse entre el diseñador y el usuario que en efecto es que el usa habitualmente el producto.

Diseño - Productor: Es de igual importancia y para que se logre una integración global, la relación diseñador con producción es la que determina finalmente que el diseño sea asequible a la tecnología instalada y que el producto cumpla con los requisitos planteados y satisfaga la necesidad del usuario.

Análisis de la calidad en el proceso de diseño

Practicar el control de la calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor.

Los factores fundamentales para el éxito de un nuevo producto son los siguientes:

- Que el producto tenga una ventaja que lo diferencie claramente, un producto único y superior ante los ojos del cliente con ventajas económicas.
- Una perfecta comprensión de las necesidades, deseos y preferencia de los usuarios, así como una fuerte orientación hacia el mercado en todas las fases de desarrollo del producto, pero principalmente en la del diseño.
- Dedicar un gran esfuerzo al lanzamiento del producto, pero principalmente en la del diseño.
- Que exista una estrecha relación entre los recursos y los conocimientos tecnológicos que ya existen en la empresa y la tecnología que necesita el proyecto para su desarrollo. Aventurarse en nuevas áreas puede ser muy arriesgado.
- Que exista también una cerrada unión entre las necesidades y mercadotecnia, venta y distribución del producto, y los recursos y habilidades de este tipo que posee la empresa.
- Es importante también que haya un atractivo mercado para el nuevo producto, un mercado de gran crecimiento, potencial alto a largo plazo, así como un mercado con una débil competencia o ausencia de actividades competitivas.
- Por último, es fundamental que en todo momento la alta dirección de la empresa manifieste su apoyo y compromiso con el proyecto. (Rodríguez y Escalona, 1993, p. 46)

El perfeccionamiento continuo del diseño, rediseño, modificación, adaptación, perfeccionamiento y construcción de máquinas agrícolas exige que las mismas sean sometidas a estudios e investigaciones con el objetivo de obtener información sobre su capacidad técnica y de trabajo, sus índices económicos y otras características de explotación. (González y Tzucurov, 1986, p. 41).

En función de los objetivos que se persiguen se establecen los distintos tipos de pruebas, donde se tiene las siguientes:

Prueba de prototipos: Son las que ocupan el mayor peso en el volumen de la experimentación por cuanto a ellas está unido el proceso de creación e introducción en la producción de nuevas máquinas.

La primera etapa de prueba a que es sometido el primer prototipo de máquina, se realiza con el objetivo que este alcance su condición de trabajo, ajuste del proceso tecnológico y comprobar la exactitud de la selección de materiales y sus dimensiones y la tecnología de su construcción, también se comprueban las exigencias técnicas y agrotécnicas. Esta etapa de prueba es la de mayor responsabilidad, ya que en dependencia de los resultados que arroje como regla general, se decide el destino de la máquina.

La segunda etapa o prueba definitiva (estatal) la pasan los prototipos que pasan la primera prueba con éxito unido a ellas, se deben realizar pruebas al sistema tradicional que sustituiría a otras máquinas que realice el mismo trabajo con vista a tomar datos para realizar una evaluación comparativa.

La segunda etapa de las pruebas del prototipo debe incluir los siguientes aspectos:

Correspondencia que existe entre los parámetros técnicos que realmente tiene la máquina y los que señala la tarea proyecto.

La efectividad agrotécnica, explotativa y económica de la nueva máquina en comparación con el proceso tecnológico tradicional.

La posibilidad de usar nuevas máquinas en un proceso tecnológico con otras máquinas para permitir una mecanización compleja de la rama o de procesos determinados.

Garantía de la máquina durante la explotación y facilidad de uso.

La periodicidad y el carácter del desgaste y averías de las piezas de la máquina durante la ejecución de su trabajo.

Las respectivas exigencias medio ambientales, higiénicas y de seguridad del trabajo que debe tener la máquina.

De todos estos resultados, se determina si se puede o no introducir la máquina en las condiciones de suelo (y clima) en que se comprobó (González y Tzucurov, 1986).

Para el proceso de investigación y desarrollo del diseño de las maquinarias agrícolas, Sakai (1980) plantea los siguientes pasos:

Objetivo, Diseño de planeamiento primario, Diseño del primer prototipo, Fabricación y prueba del primer prototipo, Diseño del segundo prototipo, Fabricación y prueba de segundo prototipo, Diseño del modelo de producción, Fabricación y prueba del modelo de producción e Inicio de la producción y distribución. Este autor no presenta las especificaciones necesarias para desarrollar cada fase. (p. 25)

El desarrollo diseño y proyección de máquinas y técnicas para la agricultura es un proceso complejo. En este proceso, tomando como base los conocimientos agronómicos, de la ingeniería agrícola, los científicos y tecnológicos, se elaboran los planes de construcción de máquinas o mecanismos enfocados a resolver problemas o satisfacer necesidades que se generan en la actividad agropecuaria con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de producción, tanto en el aspecto técnico como económico (Gaytán et al., 1997).

Por otro lado, es recomendable en el proceso de diseño y desarrollo de máquinas, adoptar el enfoque de sistemas con el fin de avanzar sistemáticamente en el mismo.

En algunas metodologías de diseño, se considera que, en cualquier proyecto de diseño y desarrollo de máquinas agrícolas, se deben considerar los tres aspectos importantes del diseño: principio funcional, estructural y económico. En ocasiones

alguno de estos principios será más crítico que el otro, en cuyo, caso el diseño estará regido principalmente por este principio, pero sin dejar de lado a los demás (Gaytán et al., 1997). En el diseño estructural se definen las características generales y particulares de la estructura desde el punto de vista de la seguridad estructural, es decir, en esta fase se ejecutan los cálculos referentes a la resistencia y rigidez de la máquina.

Reingeniería y diseño concurrente

La necesidad de cambiar rápidamente el ciclo de desarrollo de nuevos productos, mejorar respuestas de mercado, redefinir las operaciones, mejorar la calidad de los productos y fortalecer las relaciones con los clientes, está influyendo a las organizaciones para que implementen procesos de mejoramiento continuo basados en la calidad total y reingeniería (Sánchez, 2000).

Reingeniería: Reingeniería no es hacer más con menos, es con menos dar más al cliente. Es rediseñar los procesos de manera que estos no estén fragmentados. Lo central de la reingeniería según Hammer y Champy (1994), es que, “para obtener éxito, y se logren los resultados esperados de la transformación, es fundamental centrarse en los procesos y en la forma en que se hace el trabajo, lo cual es compartido por las filosofías de calidad total y justo a tiempo” (p. 61).

Algunas características comunes de los procesos renovados mediante reingeniería son: se eliminan las estructuras piramidales; el trabajo se organiza por sistemas básicos y se estructuran por procesos integrados con enfoque sistémico dirigido todo hacia el cliente; los pasos del proceso se ejecutan en orden natural donde se puede explotar la ejecución simultánea de tareas; el trabajo se realiza en el sitio razonable; se reducen las verificaciones y controles; cambian las unidades de trabajo: de departamentos funcionales a equipos de proceso; los procesos tienen múltiples versiones (Sánchez, 2000; Hammer y Champy, 1994).

Ingeniería concurrente (IC): La definición más universalmente aceptada la define como un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y de servicio. Pretende que los diseñadores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, incluyendo calidad, costos y necesidades de los usuarios (IDA, 1986).

El artículo tiene como objetivo exponer la propuesta de una metodología de diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola con enfoque de sostenibilidad.

Metodología general de la investigación para el proceso de diseño y desarrollo

La metodología para el proceso de diseño y desarrollo, que propone el autor, está basada en la combinación lógica de metodologías desarrolladas por investigadores estadounidenses sobre la base de métodos de dirección de solución de problemas, las desarrolladas por algunos investigadores japoneses para el proceso de diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola, las elaboradas en los departamentos de ingeniería

mecánica agrícola de algunas universidades mexicanas y las confeccionadas en la universidad de Holguín para el proceso de construcción y perfeccionamiento de las combinadas cañeras, así como, en la experiencia personal y de muchos investigadores e innovadores tomadas a través de entrevistas no formales. Además, para el desarrollo de la misma se tuvieron en cuenta algunos principios básicos de la reingeniería y el diseño concurrente.

A continuación, se describe la metodología seguida para el proceso de diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola, la cual se representa también, en forma de diagrama de flujo (figura 1), dado el carácter iterativo del proceso de diseño. y la secuencia de operaciones seguidas. De cada fase, etapa o paso, se desarrollan los aspectos teóricos y prácticos fundamentales.

Material y método

En las condiciones de la producción material, la actividad práctica cotidiana y la investigación científica, se presentan situaciones problemáticas que se manifiestan como dificultades existentes, necesidades e intereses, interrogantes, o situaciones que se desean cambiar.

Esta etapa debe caracterizarse por una estrecha vinculación entre el diseñador o innovador con el usuario y el cliente.

Luego de identificarse el problema, se define con claridad, para lo cual se formula en forma detallada, incluyendo las restricciones, las variables de entrada y salida, así como los estados inicial y final. La diferencia entre el planteamiento o identificación y la definición del problema, radica, en que, al delimitar el problema, éste se puede atacar en forma específica.

Como instrumentos potenciales para desarrollar esta etapa o fase se recomiendan: la observación directa de las condiciones de producción en todos sus aspectos, entrevistas formales y no formales, encuestas, voto ponderado, valoración de criterio y tormenta de ideas. En esta fase se recopila la información relacionada con el problema.

En el análisis del problema, se descompone el fenómeno en todas sus partes integrantes, se establece sus interrelaciones y el carácter jerárquico de los mismos. Se identifican las causas potenciales que contribuyen a la existencia del problema, para lo cual se aplica el análisis causa-efecto como principal instrumento, y luego se seleccionan las causas más significativas de acuerdo con el orden de prioridad que establece las condiciones para la cual se diseña o perfecciona el equipo.

Diseño de planeamiento primario

Estudio de las condiciones medioambientales, fitotécnicas y socioeconómicas donde trabajarán los equipos. Se estudiarán las características de los tipos de suelos más característicos donde se emplearán los equipos (especialmente sus propiedades físico-mecánicas, relieve y microrrelieve, nivel de compactación, erosión, salinización,

drenaje, fertilidad entre los fundamentales), y las condiciones climáticas. Se determinarán las actividades fitotécnicas comprendidas en la tecnología de producción del cultivo, debido al carácter de sistema en la utilización de los equipos que intervienen en el proceso. Se estudiarán los principales aspectos sociales y económicos que pueden limitar o favorecer la solución del problema, y se deben especificar las afectaciones sociales o medio ambientales que se pueden generar.

Aspectos técnicos económicos a considerar en el diseño de planeamiento:

- Las máquinas que se diseñen y fabriquen deben satisfacer todos los requerimientos agrotécnicos, ser viables económicamente, ecocompatibles y garantizar que sea factible su introducción y aceptación en los sistemas agrícolas.
- Para la fabricación de los órganos de trabajo se debe analizar si se pueden utilizar elementos de fabricación nacional empleados en otras máquinas, así como laminado de fácil adquisición y materiales de desecho de la reparación de implementos y determinar los elementos o piezas que son necesarios adquirir.
- La tecnología para la fabricación de los diferentes elementos de la máquina se debe elaborar de forma asequible, tanto por los medios que se necesitan, como por los métodos, condiciones para realizarla y por el nivel y calificación técnica y profesional que necesitan los obreros y técnicos para fabricarla.
- En el diseño del equipo se debe partir de la concepción de que la estructura o bastidor de la máquina pueda ser utilizada como base para el montaje de otros órganos de trabajo. Ellos permiten aumentar el grado de reducción de los gastos, pues las estructuras de las máquinas e implementos representa entre el 15 y el 60 % y más de los costos de fabricación.
- Considerar en el diseño estructural la construcción en delta o V de los bastidores o la disposición de los órganos de trabajo con esta configuración por la demostrada disminución de la resistencia a la tracción y por ende el ahorro energético.
- Considerar según el tipo de equipo que se diseñe, la instalación de órganos descompactadores, pues uno de los elementos más negativo del uso de la maquinaria agrícola lo constituye la compactación de los suelos que reduce el rendimiento de los cultivos en más de un 30%.
- Considerar en el diseño, que el equipo pueda realizar varias labores al mismo tiempo por el efecto positivo en lo económico y medioambiental.
- La compatibilidad con los usuarios, se materializa con la participación de éstos en su concepción, en la simplicidad de funcionamiento y facilidad de operación, reparación y mantenimiento de la máquina.

- También en el diseño se debe tener en cuenta la continuidad de ulterior desarrollo tecnológico.

Determinación de los parámetros agrotécnicos y propiedades físico-mecánicas del objeto con que se trabajará: Estos aspectos se utilizarán directamente en el diseño, rediseño, adaptación, modificación o perfeccionamiento de los equipos, ya que con ellos se determinarán las relaciones y las medidas más adecuadas para los elementos de máquinas, mecanismos y transformación de fuerza y movimiento.

Los diseños experimentales, toma de muestras y los medios y procedimientos que se utilicen para obtener datos o información, deben garantizar la mayor confiabilidad y aproximación a las condiciones reales. Las mediciones y observaciones del objeto, se procesan estadísticamente acorde a las necesidades que se requieren en el diseño.

Generación de alternativas de solución

Las soluciones se plantean a partir del problema, el objetivo, las informaciones o datos recogidos y analizados en los pasos anteriores, las principales causas del problema y los elementos que favorecen y los que se oponen (restricciones y limitaciones).

Es importante utilizar la experiencia pasada en soluciones análogas. Se debe considerar la participación de todos los factores involucrados y personas de cualquier calificación o rama que sean ingeniosas o que hayan tenido una labor destacada en la innovación, sin dejar de considerar los que poseen amplios conocimientos del problema que se trata. Se desarrolla la ingeniería conceptual, donde se propone la configuración general del equipo u objeto, así como los sistemas, subsistemas y mecanismos que lo deben conformar, a la vez que se deben plantear diferentes posibilidades de combinación entre los sistemas.

En esta fase debe quedar claro, de cada alternativa que se plantee, la estructuración y configuración de cada equipo u objeto que se proponga como solución con un croquis preliminar de ellos, principalmente el referido a los órganos de trabajo y procesos tecnológicos, o sea, el aspecto funcional.

Evaluación, selección y planificación de la solución

Se debe decidir sobre la solución óptima más viable, factible y eficiente de forma participativa de todos los actores involucrados. En esta fase se debe evaluar todas las alternativas existentes sobre la base de los criterios y restricciones impuestas al principio. En la evaluación se tomarán en cuenta aspectos de funcionalidad, proceso de fabricación, economía, sencillez, eficiencia, confiabilidad, versatilidad, facilidad de mantenimiento, operación y reparación, factibilidad, eficacia, aspectos de seguridad y ergonomía, requerimientos de potencia, medioambientales y socioeconómicos entre los fundamentales.

Para la evaluación y selección de la solución, es importante en el análisis el enfoque sistémico y participativo, tanto técnico como social, el enfoque medio ambiental y de

sostenibilidad de la agricultura, así como, el de las condiciones concretas existentes, tales como las edafoclimáticas, fitotécnicas y socioeconómicas.

Asimismo, es conveniente elaborar un proyecto de investigación y desarrollo para que sea financiado por cualquier organismo o institución territorial, nacional o internacional, así como, determinar las acciones y su secuencia que son decisivas para la puesta en práctica de la solución.

Se debe establecer con claridad, en todos sus aspectos, el sistema de control de la calidad en la ejecución de la alternativa seleccionada. Como instrumentos potenciales para seleccionar, evaluar y planificar la alternativa más adecuada, se propone: la reducción del listado sobre la base de los criterios seleccionados como más importantes, votación ponderada sobre la base de los mismos criterios, el análisis costo- beneficio y otros análisis económicos financieros, diagramas de flujo y análisis de campo de fuerza.

Diseño del proceso tecnológico del equipo y desarrollo de la teoría y cálculo de los órganos de trabajo

El diseño del proceso tecnológico de trabajo en detalles del equipo (aspecto funcional), se ejecuta sobre la base de la necesidad de lo que la máquina o equipo debe realizar para satisfacer al usuario, para lo cual se diseñan los componentes, sistemas y procesos que lo deben efectuar. Luego se desarrolla la teoría y cálculo de los distintos órganos de trabajo donde se definen los fundamentos teóricos, configuraciones geométricas y dimensiones de los componentes y sistemas.

Diseño del primer prototipo

Se diseñan los elementos ideados o modelos para los distintos mecanismos, sistemas o componentes del equipo u objeto seleccionado como alternativa, sobre la base de la teoría y cálculo de los órganos de trabajo desarrollada y demás elementos que se desprenden de la etapa anterior. El objetivo fundamental en ésta etapa, es juzgar cualitativamente el equipo u objeto y los recursos (insumos y medios), para determinar si la solución es factible. No se fijan en ésta etapa las medidas finales, geometría, color y peso con exactitud, aunque se hacen los cálculos de resistencia de aquellos elementos y mecanismos que no tengan semejanzas con presentes en equipos similares utilizando programas de Diseño asistido por computadoras (CAD).

Fabricación y prueba del primer prototipo

Se construye el primer prototipo, definiéndose y validándose la tecnología para la fabricación de cada uno de sus componentes. Los elementos o componentes susceptibles a cambios se deben fabricar de modo que su ensambladura permita cambiarlos fácilmente y sin necesidad de cambiar o modificar los restantes. En la fabricación se deben considerar el empleo de elementos de otros equipos, elementos ligeros, empleo de materiales de desecho, y las tecnologías de construcción más simples o sencillas posibles.

Las pruebas deben realizarse en los períodos agrotécnicos y las zonas más representativas. La primera evaluación que se le debe realizar al prototipo, es la de la funcionalidad en las condiciones de prueba previstas, según las normas nacionales e internacionales establecidas para ello. Su objetivo es que éste alcance su condición de trabajo y ajuste al proceso tecnológico, también se comprueban las exigencias agrotécnicas. Si los resultados de esta evaluación son satisfactorios, se procede a realizar las demás evaluaciones, aceptarse el prototipo y pasar al diseño del segundo con modificaciones mínimas. También existe la posibilidad de que el prototipo fracase en las pruebas, en cuyo caso tendrá que ser modificado en forma severa, o bien descartado como solución posible, de ocurrir lo mismo, hay que volver a las demás alternativas.

Las evaluaciones previstas según las normativas nacionales e internacionales para las pruebas a los equipos son las siguientes: Peritaje técnico, Evaluación agrotécnica, Evaluación tecnológico explotativa, Evaluación de la fiabilidad, Evaluación de las condiciones de seguridad laboral e higiene del trabajo, Evaluación energética, Evaluación económica y Evaluación ambiental y social.

Al primer prototipo según las características, calidad obtenida en su fabricación, aproximación a la versión final y resultado de la prueba de funcionalidad, se le pueden realizar todas las pruebas, parte o algunos aspectos de ellas, según las necesidades o lo decidido por el diseñador, de manera que le permita efectuar una evaluación con calidad del equipo y le sirva de base para los futuros cambios, modificaciones, perfeccionamientos o rediseño del mismo. Los datos obtenidos durante las evaluaciones, se procesan y analizan y se sacan las conclusiones sobre la eficacia de la solución; es importante la observación constante del funcionamiento y proceso tecnológico del equipo durante las pruebas, con el objetivo de detectar las posibles causas que provocan las insuficiencias.

Diseño del segundo prototipo

Se le realiza al prototipo que pasaron las primeras pruebas con éxito. Se diseñan los diferentes componentes del equipo con sus medidas finales, geometría o forma exacta, color y peso a partir de las restricciones que impone la realidad durante las pruebas de campo, los requerimientos agrotécnicos y propiedades físico - mecánicas del objeto que se elabora, las causas que provocan insuficiencias de todo tipo y magnitud durante el trabajo del equipo y la teoría y cálculo de los órganos de trabajo desarrollada y validada en el primer prototipo, o sea, se perfecciona el diseño funcional y se realiza el diseño estructural, siendo el primero el punto de partida del segundo. El diseño estructural es la parte del proceso de diseño, en la que se determinan las dimensiones de cada uno de los elementos y mecanismos que integran el equipo u objeto, de tal forma que éstos soporten las cargas de servicio desde el punto de vista de la seguridad estructural, es decir, en esta fase se ejecutan en su totalidad los

cálculos referentes a la resistencia y rigidez de los diferentes elementos y mecanismos del equipo u objeto a través de programas de Diseño asistido por computadoras (CAD).

Fabricación y prueba del segundo prototipo

Se fabrican los diferentes elementos y mecanismos del equipo con sus medidas calculadas finales, su geometría o forma exacta, color y peso, a partir de las tecnologías de fabricación validadas en el primer prototipo y según los principios generales planteados en el primero.

Se realizan las pruebas en las condiciones determinadas y se efectúan las evaluaciones previstas según las normativas relacionadas anteriormente. En ésta etapa se tiene en cuenta los procedimientos y aspectos generales planteados en la primera. Unido a las pruebas de éste prototipo, se deben realizar pruebas al equipo tradicional que sustituiría, si existe, con vistas a recopilar datos para realizar una evaluación comparativa, de no existir, se compara con la labor manual.

Se tendrán en cuenta durante y al concluir la prueba los aspectos y procedimientos generales que se describieron en la prueba anterior.

Diseño del modelo de producción

Se trata mediante un diseño adecuado, darle solución a las causas de las insuficiencias de todo tipo, que se presentaron en las pruebas del segundo prototipo. Se dará una completa descripción ingenieril, incluyendo planos de manufactura y de montaje o ensambladura, así como, las especificaciones de dimensiones, tolerancias, materiales, capacidades, tecnologías de construcción, etc. Este diseño definitivo podrá ser recomendado para su fabricación comercial, una vez que satisfaga las pruebas de campo. En caso contrario, sufrirá aún ligeras modificaciones. En el diseño definitivo, es importante que participen todos los factores o actores involucrados o afectados por la solución.

Fabricación y prueba del modelo de producción

Se fabrica el equipo con sus dimensiones y características exactas, con las tecnologías de construcción validadas en el primer y segundo prototipo, considerando los mismos principios aplicados en la construcción de los anteriores prototipos.

Las pruebas y evaluaciones al modelo de producción deben incluir lo siguiente: Las evaluaciones establecidas según las normativas vigentes relacionadas anteriormente; correspondencia que existe entre los parámetros técnicos y agrotécnicos ajustados que realmente resultan durante el trabajo la máquina y los que se señalan en la tarea de proyecto o en la alternativa seleccionada; la efectividad agrotécnica, técnica, tecnológico-explotativa, energética, y económica del nuevo equipo, en comparación con el proceso tecnológico realizado por el equipo tradicional si existe o con la labor manual, garantía del equipo durante la explotación y facilidad de uso u operación, de mantenimiento y reparación; observación constante del funcionamiento y proceso

tecnológico del equipo, para detectar las posibles causas de las insuficiencias que se presenten y otras.

Los datos obtenidos por las mediciones y observaciones del proceso durante la prueba, se procesan y analizan y se sacan las conclusiones finales sobre la eficiencia y eficacia del equipo en las condiciones edafoclimáticas, socioeconómicas y fitotécnicas para las que se propone. Se señalan las modificaciones o perfeccionamientos necesarios a realizar para eliminar las insuficiencias o dificultades presentadas, así como las principales características e indicadores técnicos explotativos del equipo.

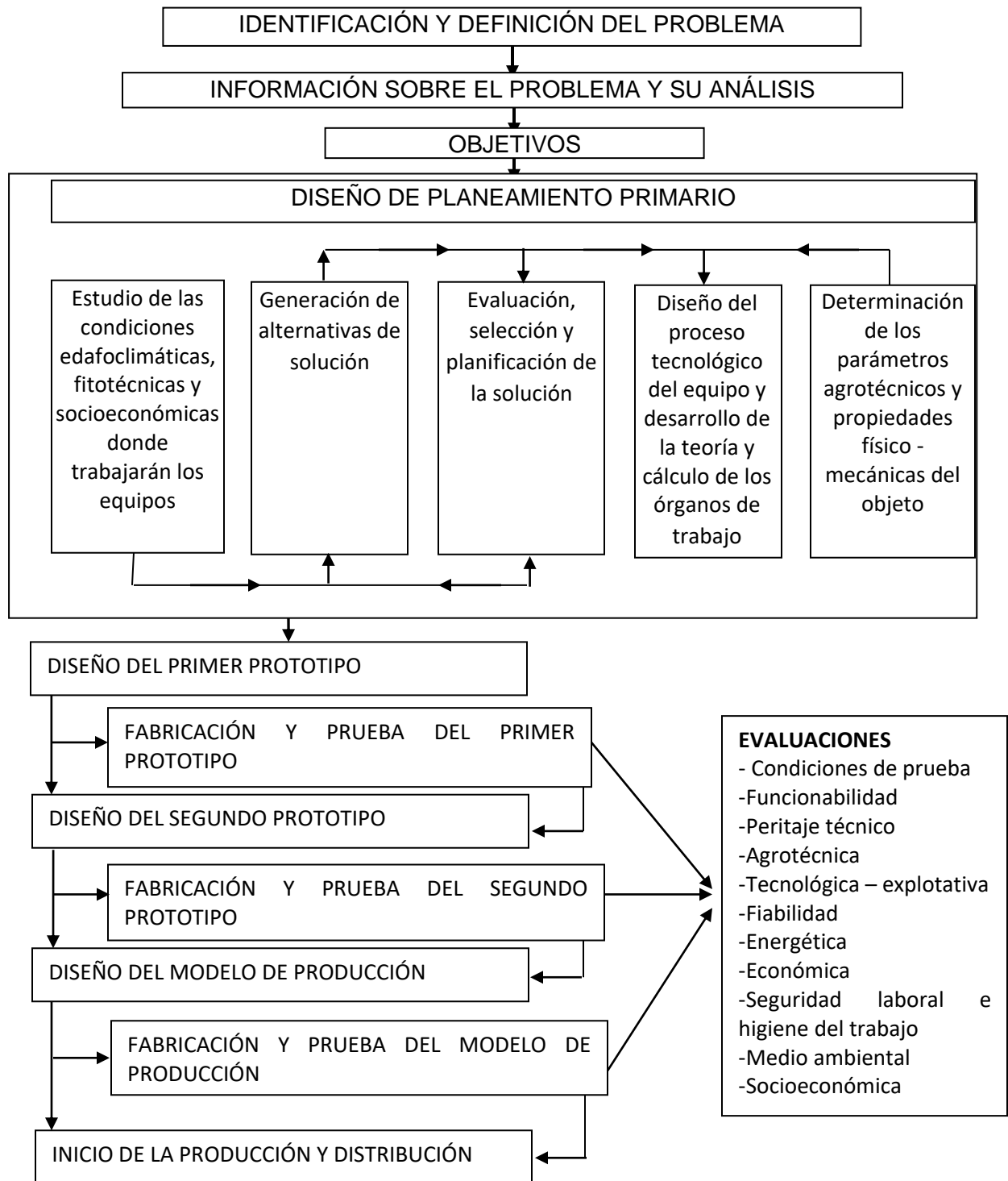
Se dan las siguientes recomendaciones: las soluciones, si hay nuevos problemas creados por el uso del nuevo equipo; indicar las modificaciones o perfeccionamientos a realizar en la máquina, sin que esto conlleve a diseñar o construir otro equipo; preparar un grupo experimental (si sobre el equipo no se necesita hacer cambios severos) para probarlos en distintas condiciones y determinar su factibilidad de trabajo en cada caso; modificar el prototipo existente, cuando es necesario que sufra cambios de envergadura y pase de nuevo la prueba de campo, siempre y cuando no conlleve a diseñar y construir otro equipo; la tecnología de fabricación del equipo y las exigencias agrotécnicas y tecnológicas del equipo.

Una vez que el diseñador o diseñadores estén convencidos de las virtudes, ventajas y desventajas del equipo desarrollado, se procede a presentar el diseño y recomendarlo como una solución óptima al problema inicial a la empresa productora.

El inicio de su producción, debe realizarse en las instalaciones que cuenten con los recursos y medios mínimos indispensables recogidos en la tecnología de fabricación del equipo, cumpliendo estrictamente las normas y medidas de diseño establecidas y un riguroso control de la calidad de los elementos componentes que se fabrican y del equipo en general. La distribución se realiza a los clientes o usuarios identificados al inicio y que se han comprometido con su producción y generalización. Es necesario asesorar y capacitar a los usuarios hasta que tengan pleno dominio del funcionamiento y explotación del equipo.

Todo ello se expone en la siguiente figura:

Figura 1. Flujograma del proceso de diseño y desarrollo. Fuente: elaboración propia.



Consideraciones finales

La metodología elaborada para el diseño y desarrollo de la maquinaria agrícola considera para el diseño de equipos condicionantes técnicos, tecnológicos, económicos, ambientales y socioculturales y su sostenibilidad en el tiempo.

La metodología elaborada incluye fases o etapas donde se exponen los aspectos teóricos y prácticos fundamentales para su implementación, así como aspectos organizativos, técnicos, económicos, medioambientales y sociales a tener en cuenta.

En la metodología se consideran también principios tales como el enfoque sistémico y participativo de todos los actores involucrados en el proceso, los métodos de trabajo en grupo, las técnicas de solución de problemas, el trabajo en grupos multidisciplinarios y los agroecológicos.

Referencias

- Blanco, M. E. (2018). *Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo* (tesis doctoral inédita). Universidad Politécnica de Catalunya. Recuperado de repositorio institucional de la Universidad <http://hdl.handle.net/10803/620738>
- Gaytán, J. G., Labato, R., Jiménez, L. L. y Muñoz, F. (1997). *Carrera de ingeniero mecánico agrícola*. México: DIMA, UACH.
- González, R. y Tzucurov, A. (1986). *Explotación del parque de maquinaria. Departamento de reparación y explotación*. ISCAH. Fac. de Mecanización. La Habana: MES, Enpes.
- Hammer, M. y Champy, J. (1994). *Reingeniería*. Colombia: Grupo Editorial Norma.
- Rodríguez, A. R. y Escalona, J. (1993). *Metodología para el diseño de cabinas para las cosechadoras cañeras KTP* (trabajo de diploma inédito). Universidad de Holguín.
- Sakai, J. (1980). Proceso de investigación y desarrollo del diseño de las maquinarias agrícolas: El tractor como ejemplo. *Agricultural mechanization in Asia*, 11(1), 19-25.
- Sánchez, W. (2000). *Reingeniería de sistemas*. Recuperado de <http://anubis.ccm.itesm.mx/>
- Shkiliova, L. y Fundora, R. (2014). La mecanización en la Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA). *Revista La Técnica*, (13), 32-43.
- Zaldívar, M. C. (2018). Reflexiones sobre el diseño mecánico en el siglo XXI. *A3manos*, 5(9), 19-32. Recuperado de <https://a3manos.isdi.co.cu/index.php/a3manos/article/view/133>