



**Revisión de la ingeniería de detalle, construcción y pruebas de operación de la planta portátil, para la producción de 300 litros de nano partículas metálicas de hierro**

Loayza Vásquez, Carlos Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

Ing. Naranjo Guatemala, Carlos Rodrigo

21 de Marzo del 2021

## Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Andrés Loayza 170321.docx (D98673959)  
Submitted: 3/17/2021 6:22:00 PM  
Submitted By: caloayza@espe.edu.ec  
Significance: 4 %

### Sources included in the report:

MIGUEL PERUGACHI-Tesis.docx (D76540190)  
Proyecto Técnico-Marcos Buenaño-14-12-2020.docx (D93902244)  
HIDROMETALURGIA QUIMICA E INGENIERIA DEL ORO-MuseoSans300FINAL.docx (D63210398)  
<https://docplayer.es/27127030-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-civil-y-mecanica-carrera-de-ingenieria-mecanica-trabajo-estructurado-de-manera-independiente.html>

### Instances where selected sources appear:

15

---

ING. CARLOS NARANJO  
TUTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "Revisión de la ingeniería de detalle, construcción y pruebas de operación de la planta portátil, para la producción de 300 litros de nano partículas metálicas de hierro" fue realizado por el Señor Loayza Vázquez, Carlos Andrés el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con el requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 17 de marzo de 2021

Ing. Carlos Rodrigo Naranjo Guatemala

DIRECTOR

C.C. 1707087084



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, Loayza Vásquez, Carlos Andrés con cédula de ciudadanía 1720858461 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Revisión de la ingeniería de detalle, construcción y pruebas de operación de la planta portátil, para la producción de 300 litros de nano partículas metálicas de hierro", es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 5 de marzo de 2021**

**Loayza Vásquez Carlos Andrés**

**C.C. 1720858461**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, Loayza Vásquez, Carlos Andrés con cédula de ciudadanía 1720858461 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el presente trabajo de titulación "Revisión de la ingeniería de detalle, construcción y pruebas de operación de la planta portátil, para la producción de 300 litros de nano partículas metálicas de hierro" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 5 de marzo de 2021**

---

**Loayza Vásquez Carlos Andrés**

**C.C. 1720858461**

## **Dedicatoria**

A mi madre, que entregó su vida para verme crecer, a mi padre que me verá triunfar y a mis hermanos que me acompañaran en el resto del camino.

A todos los amigos que fueron mi compañía y familia durante la carrera universitaria, compartiendo este reto y aventura.

Andrés Loayza, 2021

## Agradecimientos

Agradezco a cada persona, desde mi familia y amigos,  
hasta mis rivales e indiferentes... cada luz que me ha iluminado...  
cada piedra con la que he tropezado,  
han moldeado mi existencia.

-Gracias a ellos soy lo que soy

-Devolveré a sus vidas todo lo que me han dado.

Andrés Loayza, 2021

## Indice General

Dedicatoria.....	6
Agradecimientos .....	7
Indice General.....	8
Indice de Tablas.....	11
Indice de Figuras .....	13
Resumen .....	17
Abstract.....	18
Introducción .....	19
Antecedentes.....	19
Justificación e Importancia.....	24
Área de Influencia.....	25
Objetivos .....	26
Objetivo General.....	26
Objetivos Específicos.....	26
Alcance.....	26
Marco teórico .....	27
Nanociencia y Nanopartículas .....	27
Definición.....	27
Sistema Coloidal.....	27
Característica de las Nanopartículas de Hierro .....	27
Medición de Tamaño Para Nanopartículas .....	29
Producción de Nanopartículas Metálicas .....	31
Sensores.....	34
Temperatura .....	35
Presión .....	35
Velocidad.....	35
Posición .....	35
Electroquímicos .....	36

Estructuras Metálicas (Skid Metálicos) .....	38
Tipos de Cargas .....	39
Elementos de Construcción. ....	40
Normas de construcción .....	41
Movilidad y Transporte .....	43
Movilidad en Ecuador .....	43
Manejo de Cargas .....	45
Aseguramiento de Carga .....	45
Control de Calidad de la Construcción.....	47
Precomisionamiento .....	49
Comisionamiento .....	49
Puesta en Marcha.....	50
Mantenimiento Industrial .....	50
Manual de Mantenimiento.....	51
Requerimientos de la planta.....	52
Revisión del Diseño Original.....	52
Proceso de Producción.....	53
Desarrollo del Proceso.....	57
Especificaciones Técnicas de los Equipos.....	59
Reactor Principal .....	60
Reactor Mezcla.....	62
Tanque de Agua .....	64
Bombas Hidráulicas .....	65
Motores.....	68
Instrumentación .....	70
Generador .....	72
Selección de Equipos .....	73

Layout de la Planta.....	74
Diseño y Construcción .....	81
Skid Metálico .....	81
Cargas .....	82
Cálculo Estructural.....	83
Perfiles Metálicos y Material .....	89
Cálculo de Estructuras con SAP 2000 .....	90
Diseño CAD.....	92
Verificación de Cálculos.....	94
Deflexiones Permisibles.....	94
Construcción y Equipamiento .....	98
Supervisión de Construcción .....	98
Condiciones de Trabajo .....	102
Pruebas de operación .....	103
Protocolo de pruebas.....	103
Precomisionamiento .....	105
Comisionamiento .....	107
Puesta en Marcha.....	108
Ejecución de Pruebas.....	109
Producción de lote de nanopartículas .....	114
Presupuesto.....	117
Conclusiones .....	119
Recomendaciones .....	120
Referencias Bibliográficas.....	122
Anexos.....	127

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Clasificación general de los valores vehículos de carga. ....	45
<b>Tabla 2:</b> Procedimiento para la obtención de npmh mediante la propuesta de la laboratorista Ambar Oñate en el CENCINAT. En comparación al diseño propuesto en la fase 1. ....	53
<b>Tabla 3:</b> Abstracción de informe realizado en CENCINAT para procedimiento de elaboración de npmh. ....	57
<b>Tabla 4:</b> Parámetros de diseño para reactor principal. ....	61
<b>Tabla 5:</b> Características del reactor principal. ....	61
<b>Tabla 6:</b> Parámetros de diseño para reactor de mezcla. ....	63
<b>Tabla 7:</b> Características del reactor de mezcla. ....	64
<b>Tabla 8:</b> Capacidades tinacos rotoplas. ....	65
<b>Tabla 9:</b> Caudales y tiempos de llenado de electrobombas hidráulicas. ....	66
<b>Tabla 10:</b> Matriz de decisión equipo: Bombas hidráulicas. ....	67
<b>Tabla 11:</b> Características de motores. ....	69
<b>Tabla 12:</b> Motores consultados para selección. ....	69
<b>Tabla 13:</b> Características de sensores, empresa Hanna instrument. ....	70
<b>Tabla 14:</b> Matriz de decisión para sensores electroquímicos. ....	71
<b>Tabla 15:</b> Consumo eléctrico de la planta. ....	72
<b>Tabla 16:</b> Especificaciones de generadores comerciales consultados a nivel nacional. ....	73
<b>Tabla 17:</b> Matriz de decisión generadores eléctricos. ....	73
<b>Tabla 18:</b> Equipos comerciales seleccionados. ....	74
<b>Tabla 19:</b> Estados posibles de trabajo del skid metálico. ....	82
<b>Tabla 20:</b> Especificación de cargas presentes en skid metálico. ....	82
<b>Tabla 21:</b> Distribución lineal de carga en vigas producida por el tanque de agua. ....	85

<b>Tabla 22:</b> Esfuerzos máximos permisibles de perfiles estructurales. ....	89
<b>Tabla 23:</b> Características principales de los modelos computacionales generados .....	92
<b>Tabla 24:</b> Cargas por movimiento en estado de transporte.....	94
<b>Tabla 25:</b> Resultado de simulación realizada en el skid por estados de trabajo propuestos. .....	96
<b>Tabla 26:</b> Fechas de inspecciones realizadas al proceso de construcción y fotografías. .....	98
<b>Tabla 27:</b> Especificaciones técnicas de la planta de producción.....	102
<b>Tabla 28:</b> Características a inspeccionar de acuerdo al procedimiento de control de calidad a realizar .....	104
<b>Tabla 29:</b> Especificación de planos codificados.....	105
<b>Tabla 30:</b> Cantidad de pruebas de precomisionamiento realizadas. ....	105
<b>Tabla 31:</b> Referencias de pruebas de comisionamiento realizadas. ....	108
<b>Tabla 32:</b> Fotografías del proceso realizado para verificar las especificaciones utilizando el precomisionamiento y comisionamiento planificado. ....	110
<b>Tabla 33:</b> Procedimiento desarrollado para la prueba de puesta en marcha.....	112
<b>Tabla 34:</b> Resultados de las pruebas realizadas al prototipo. ....	113
<b>Tabla 35:</b> Datos obtenidos en micrografías de pruebas con DLC. ....	116
<b>Tabla 36:</b> Presupuesto final .....	117

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> Planta industrial para la fabricación de nanopartículas.....	20
<b>Figura 2:</b> Concentraciones TCE – Tiempo, Canada, Quebec.....	22
<b>Figura 3:</b> Campamento para inyección de Nanopartículas de hierro en Canadá, Golder Associates Ltd.....	23
<b>Figura 4:</b> Inyección de Fe0 empresa Golder Associates Ltd.....	23
<b>Figura 5:</b> Aumento de izquierda a derecha de la superficie relativa.....	28
<b>Figura 6:</b> Cantidad de átomos en masa vs cantidad de átomos en superficie a nanoescala.....	28
<b>Figura 7:</b> Tipos de métodos usados para la medición de partículas menores a 1000 micrones. ....	29
<b>Figura 8:</b> Diagrama de caracterización de nanopartículas por método AFM.....	30
<b>Figura 9:</b> Medición de movimiento browniano para obtener tamaño de nanopartículas. ....	31
<b>Figura 10:</b> Síntesis de nanopartículas por el método Bottom-up. ....	32
<b>Figura 11:</b> Representación de procedimiento de laboratorio para la producción de npmh. ....	32
<b>Figura 12:</b> Diagrama de producción de nanopartículas metálicas proporcionado, CENCINAT – ESPE .....	33
<b>Figura 13:</b> Dosificado en laboratorio de investigación. ....	34
<b>Figura 14:</b> Izquierda, Sensor ultrasónico de nivel. Derecha, Sensor bypass indicador de nivel. ....	36
<b>Figura 15:</b> Comparación entre medición de ORP y OD. ....	38
<b>Figura 16:</b> Skid metálico. Dosificación e inyección de químicos. ....	38
<b>Figura 17:</b> Tipos de cargas en sistemas estructurales.....	39
<b>Figura 18:</b> Perfiles estructurales más usados.....	40

<b>Figura 19:</b> Izquierda: Skid metálico de acero, sistema de inyección de químicos. Derecha: Skid metálico de aluminio, canasta .....	41
<b>Figura 20:</b> Valores máximos de derivas de piso, expresados como fracción de la altura de piso. ....	42
<b>Figura 21:</b> Coeficiente R para sistemas estructurales dúctiles.....	42
<b>Figura 22:</b> Serviceability Design Considerations for Steel Buildings (Second Edition).	43
<b>Figura 23:</b> Trincaje realizado con cintas de poliéster para soportar bloques de concreto en su transporte. ....	46
<b>Figura 24:</b> Diagrama de fuerzas presentes en el transporte de carga, dependiendo de la dirección a la que se efectúa la aceleración. ....	47
<b>Figura 25:</b> Diagrama de flujo: proceso de control de la calidad. ....	48
<b>Figura 26:</b> Propuesta de diseño para planta de producción de npmh. ....	52
<b>Figura 27:</b> Nanopartículas metálicas de hierro producidas en condiciones de laboratorio. ....	55
<b>Figura 28:</b> Fases en la elaboración de npmh.....	56
<b>Figura 29:</b> Diagrama de flujo cruzado en proceso de producción de npmh. ....	58
<b>Figura 30:</b> Diagrama equipos conjuntos para proceso de producción de npmh.....	59
<b>Figura 31:</b> Diagrama conceptual reactor principal. ....	60
<b>Figura 32:</b> Modelo CAD para reactor principal.....	62
<b>Figura 33:</b> Diagrama conceptual reactor mezcla. ....	63
<b>Figura 34:</b> Variedad de tanques plásticos rotoplas. ....	65
<b>Figura 35:</b> Izquierda: Electrobomba centrífuga Pedrollo, AL-RED. Derecha: Electrobomba centrífuga Q-Pumps. QC 100 .....	66
<b>Figura 36:</b> Tiempo de llenado de un recipiente de 300 litros. ....	67
<b>Figura 37:</b> Dimensiones de camioneta Mazda BT-50. ....	75

<b>Figura 38:</b>	(a) Disposición de los recipientes principales con medidas originales. (b) Disposición de los recipientes realizando ajuste para mayor holgura.....	76
<b>Figura 39:</b>	Diagrama P&ID planta de producción de nanopartículas metálicas.....	77
<b>Figura 40:</b>	Layout de diseño conceptual de la planta.....	78
<b>Figura 41:</b>	Diagrama unifilar sistema eléctrico, circuito de control. ....	79
<b>Figura 42:</b>	Diagrama unifilar sistema eléctrico, circuito de potencia.....	80
<b>Figura 43:</b>	Boceto de prototipo para planta de producción de npmh.....	81
<b>Figura 44:</b>	Croquis de estructura interna y soporte de recipientes para armado de skid metálico. ....	83
<b>Figura 45:</b>	Áreas cooperantes para la carga distribuida del tanque de agua. ....	84
<b>Figura 46:</b>	Diagrama de fuerzas en el perfil “V1” con dos apoyos fijos y una carga distribuida producto de la masa del tanque de agua lleno. ....	86
<b>Figura 47:</b>	Diagrama de fuerzas en el perfil “V3” con dos apoyos fijos y una carga puntual producto de la reacción de un apoyo del reactor principal.....	86
<b>Figura 48:</b>	Esfuerzo cortante producido en viga V1 (arriba) y V3 (abajo).....	87
<b>Figura 49:</b>	Momento flector producido en viga V1 (arriba) y V3 (debajo). ....	88
<b>Figura 50:</b>	Cargas de estado crítico y resultado de la Demanda / Capacidad del diseño computacional puesto a prueba bajo los criterios del estado tres, usando SAP 2000. ..	90
<b>Figura 51:</b>	Diseño CAD de planta de producción de npmh. ....	93
<b>Figura 52:</b>	Equipo de trabajo involucrado en el proyecto. ....	101
<b>Figura 53:</b>	Portada de manual de usuario.....	103
<b>Figura 54:</b>	Codificación usada para los planos realizados. ....	104
<b>Figura 55:</b>	Codificación para documentos de precomisionamiento.....	106
<b>Figura 56:</b>	Formato para prueba de precomisionamiento. ....	106
<b>Figura 57:</b>	Formato para prueba puesta en marcha. ....	109

**Figura 58:** Producción de lotes de npmh, a cargo del equipo del laboratorio de CENCINAT.....115

## Resumen

Este proyecto de titulación, es la segunda etapa, en el desarrollo de una planta transportable de producción de nanopartículas metálicas de hierro, para la investigación del campo de la nanotecnología por parte del departamento CENCINAT, Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. En el laboratorio se realizó el procedimiento de elaboración de nanopartículas metálicas de hierro, con el propósito de reducir niveles de cadmio contaminante en suelos agrícolas, el proyecto procede con el diseño de un prototipo móvil, que permita llevar el proceso de producción al sitio de trabajo. En la primera etapa se definen las características e instrumentos que serán necesarios para cumplir con una demanda de 300 litros, haciendo énfasis en los reactores que realizan la síntesis de nanopartículas. En la segunda etapa se realiza la selección de los equipos comerciales y se supervisa la construcción de los restantes. Posterior al ensamble final se ejecutan pruebas de funcionamiento, mediante procedimientos de comisionamiento lo que valida al equipo para ser transportado y operado. Con el fin de un manejo responsable del equipo se elaboran manuales para su correcto uso y mantenimiento.

Palabras Claves:

- **NANOPARTÍCULAS DE HIERRO**
- **REMEDIACIÓN**
- **BANCO DE PRUEBAS MÓVIL**
- **COMISIONAMIENTO**
- **DISEÑO Y SIMULACIÓN**

### **Abstract**

This degree project is the second stage in the development of a transportable plant for the production of metallic iron nanoparticles, for research in the field of nanotechnology by the CENCINAT department of the *Universidad de las Fuerzas Armadas*, Ecuador. The procedure for the elaboration of metallic iron nanoparticles was carried out in this laboratory, in order to reduce levels of polluting cadmium in agricultural soils. The project proceeds with the design of a transportable prototype, which allows to take the production process to the site of work. In the first stage has been defined the characteristics and instruments that will be necessary to meet a request of 300 liters, emphasizing the dimensions of the reactors that perform the synthesis of nanoparticles. In the second stage, the selection of the commercial teams is made and the construction of the rest is supervised. After the final assembly, performance tests are carried out, through commissioning procedures, which confirm the equipment to be transported and operated. In order to manage the equipment responsibly, manuals are drawn up for its correct use and maintenance.

#### *Key Words:*

- **METALLIC IRON NANOPARTICLES**
- **REMEDICATION**
- **TRANSPORTABLE TEST BENCH**
- **COMMISSIONING**
- **DESIGN AND SIMULATION**

## Capítulo 1

### Introducción

#### Antecedentes

Desde la década de los años 60 se ha incursionado en el campo de la nanotecnología, el físico estadounidense Richard Feynman, describió las propiedades y características básicas que se podría encontrar en esta nueva rama del estudio de la ciencia, la capacidad de manipular materia a nivel atómico. Desde entonces las nanopartículas han tenido un considerable crecimiento principalmente en su aplicación en procesos industriales biomédicos, ópticos y electrónicos. (ICEX, 2012)

En la actualidad los proyectos de nanociencia generan una mayor atención dentro de la sociedad, la nanotecnología ha demostrado nuevas características y aplicaciones, tales como: nanopartículas de zinc, las cuales están siendo utilizadas en la fabricación de neumáticos de alto rendimiento; del mismo modo la biosíntesis de nanopartículas de ZnS (Sulfuro de Zinc) es usadas en aplicaciones electroluminiscentes. (Botello Salinas & Garza González, 2007)

En el campo de la remediación ambiental, la nanotecnología ofrece nuevas estrategias en la recuperación de áreas afectadas por la minería. Nanopartículas estabilizadas de ferrita de cobalto ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ), son usadas para la purificación de agua al adsorber<sup>1</sup>: plomo, cadmio y cromo; permitirá acceder a zonas agrícolas tener condiciones óptimas para su trabajo. (Chuquisengo Picon, 2018)

En general la nanotecnología ha captado la atención de todo el mundo, en Ecuador en el año 2015, se organizó el Primer Congreso Internacional de Nanotecnología, que tuvo lugar en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga (ESPE-EL).

---

<sup>1</sup> Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

(Proaño & Báez, 2015) Desde entonces y cada año, se ha realizado esta participación científica, dando como resultado varios proyectos en el campo de la nanotecnología, proyectos como: “*Diseño de un reactor y simulación de la mezcla para la fabricación de nanopartículas metálicas, como proceso de remediación en suelos contaminados por la minería.*” (Revelo & Muños, 2016), la cual generó los primeros diseños para una planta de producción Figura 1.

**Figura 1:**

*Planta industrial para la fabricación de nanopartículas.*



Nota: (Revelo & Muños, 2016)

En Estados Unidos la agencia de protección ambiental (EPA)<sup>2</sup> investigó el costos de distintos tratamientos para la recuperación de agua contaminada en pozos; LA técnicas serían: 1) *pump-and-treat (P&T)*, que extrae el líquido, lo trata y posterior lo devuelven; 2) *permeable reactive barriers (PRBs)*, en este último proceso se desarrollaron técnicas de tratamiento con la inyección de partículas *zero-valent iron (Fe<sup>0</sup>)* como medio

---

<sup>2</sup> EPA: U.S. Environmental Protection Agency

reactivo para convertir contaminantes en especies no tóxicas o inmóviles. El proceso (*PRBs*) obtuvo un tercio del costo promedio en comparación con los procesos (*P&T*) sin embargo la implementación de procesos (*PRBs*) no es factible en todas las locaciones. (USEPA, 2001)

Golger Associates Ltd.<sup>3</sup> con un total de 23 locaciones alrededor del mundo se ha convertido en el líder mundial de producción de nanopartículas de ( $\text{Fe}^0$ ), con las cuales ha implementado distintos proyectos en tratamiento de suelos, uno de ellos se realizó en Canadá empleando 4500 kg de nanopartículas de hierro, vertido en un campo de 200m<sup>2</sup>, lo que redujo en 10 meses las concentraciones de contaminantes (TCE)<sup>4</sup>, Figura 2.

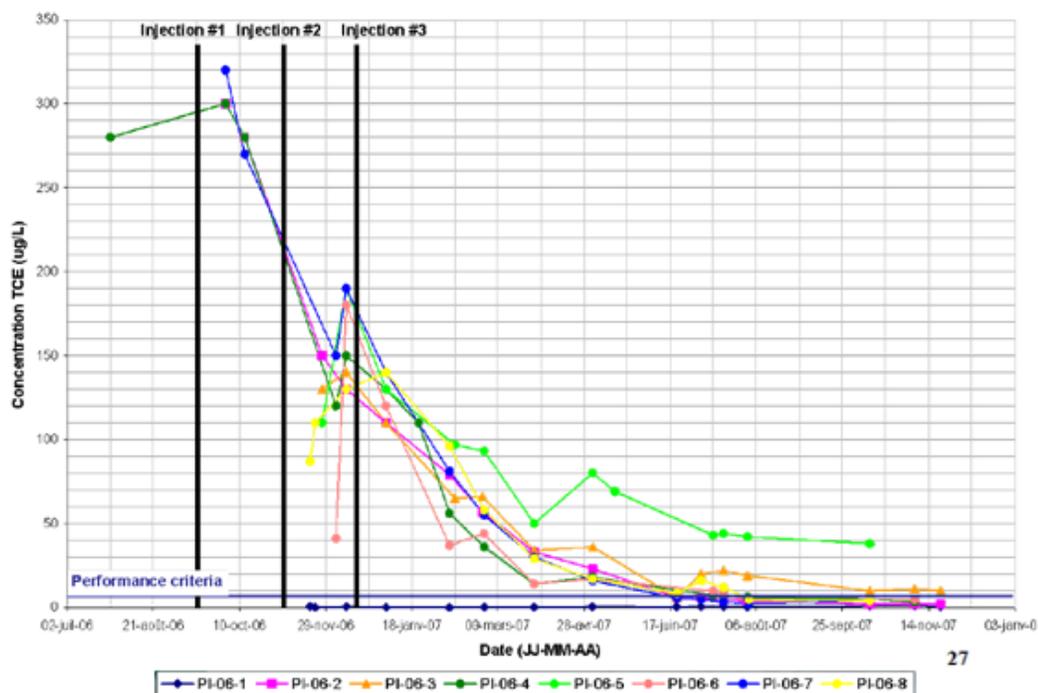
---

3 Golder Associates Ltd. ofrece servicios profesionales de ingeniería. La empresa ofrece servicios de ingeniería de suelos, gestión de recursos naturales, evaluación ambiental y social, gestión y cumplimiento ambiental, y servicios de planificación y diseño, que incluyen gestión de residuos, gestión de relaves y servicios de tratamiento de aguas y aguas residuales y servicios de ingeniería.

4 Trichloroethylene (TCE): El compuesto químico tricloroetileno es un halocarbono comúnmente utilizado como solvente industrial.

Figura 2:

Concentraciones TCE – Tiempo, Canada, Quebec<sup>5</sup>



Nota: (Lilley, 2012)

El proyecto contaba con una planta de producción, Figura 3, las nanopartículas se inyectaron a profundidades de 40m con el uso de torres de perforación y equipos de bombeo. Para inyecciones a poca profundidad se usaron camionetas para movilizar las nanopartículas y luego inyectarlas con un proceso de bombeo, Figura 4.

<sup>5</sup> Las curvas "PI-06x" son puntos de inyección en el área de trabajo en Canadá, Quebec.

**Figura 3:**

*Campamento para inyección de Nanopartículas de hierro en Canadá, Golder Associates Ltd.*



*Nota: (Lilley, 2012)*

**Figura 4:**

*Inyección de Fe<sub>0</sub> empresa Golder Associates Ltd.*



*Nota: (Lilley, 2012)*

El costo de las nanopartículas en 2011 rondaba los £50–150 (\$61.49-184.46) por kilogramo, hoy en día el costo se mantiene en un promedio de \$80, dependiendo del

tratamiento que estas partículas pueden llegar a tener. La investigación se ha centrado en el desarrollo de mejorar el método para producir mayor cantidad, mientras se mantenga la funcionalidad. (Crane & Scott, 2012).

### **Justificación e Importancia**

#### – Impacto Ambiental

La contaminación en suelos es persistente debido a varias circunstancias: actividad minera, suelos con presencia de minerales naturales, actividad volcánica, fertilización fosfática o el uso excesivo de pesticidas y plaguicidas en cultivos (Kourous, 2018). En suelos agrícolas se ha estimado el nivel promedio de cadmio entre 0,07 y 1,1 [mg/kg], con un nivel base natural que no excede los 0,5 [mg/kg]. (Kabata-Pendías & Pendías, 1984)

El cadmio es un metal pesado que se ha asociado a varios problemas graves de salud humana. La existencia de niveles crecientes del metal en suelos agrícolas genera gran preocupación ambiental, ya que este elemento posee facilidad para ser absorbido por plantas. La intoxicación con cadmio se ha asociado a varios problemas como: deficiencias renales, enfisema pulmonar, osteoporosis, hipertensión arterial y algunas formas de cáncer prostático. (Herrera Marcano, 2014)

El departamento de CENCINAT<sup>6</sup> trabaja en el proyecto de investigación: *“Desarrollo y aplicación de nanomateriales en la recuperación de suelos cacaoteros contaminados con cadmio”*. (INÉDITA & SENESCYT, 2019) un proyecto que pretende mitigar y contribuir con el proceso de remediación ambiental en suelos cacaoteros, para dicho cometido requiere de la construcción de un equipo que pueda transportar una solución efectiva para el control de la contaminación en estos suelos de producción agrícola, elaborar

---

<sup>6</sup> Centro de nanociencia y nanotecnología, laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador.

este proyecto facilitará el estudio de las condiciones necesarias para reducir niveles de cadmio y mejorar la salud alimenticia.

- Impacto Económico

Uno de los principales ingresos brutos con los que cuenta el país es la exportación de cacao, los principales compradores son Holanda, Alemania y Bélgica que compraron el 24,7 % del cacao que Ecuador exportó durante el 2017, unos 170 millones de dólares. Europa permite de 0,60 a 0,10 [mg/kg] de cadmio en cacao de exportación. (Agroorgánicos, 2018)

Añadiendo el proceso de remediación ambiental con nanopartículas de hierro, establecemos una mejora en los parámetros de control en la producción de alimentos, permitiendo al cacao ecuatoriano obtener mejor aceptación y mercado.

- Innovación y desarrollo.

Se creará un nuevo equipo, uno que pueda marcar un inicio en la elaboración de proyectos para la remediación ambiental, esto generará un nuevo campo de trabajo un nuevo método para el tratamiento de suelos agrícolas, esto mejorará la producción de alimento mientras se aplica a la sostenibilidad de grandes proyectos agrícolas.

### **Área de Influencia**

Este proyecto tendrá un impacto en la actividad agrícola industrial, se promoverá el uso de estas técnicas para la sostenibilidad de nuevos proyectos agrícolas, la implementación de estos equipos será más común a través de los años. La tendencia a la expansión humana hará necesaria la reutilización de suelos, lo que abrirá mucho más la utilización de estos equipos.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Realizar la revisión de la ingeniería de detalle, construcción y realizar pruebas de funcionamiento de una planta portátil, para la producción de 300 litros de nano partículas metálicas de hierro.

### ***Objetivos Específicos***

- Revisar y completar la ingeniería de detalle de una planta para la producción de nanopartículas de forma que se fijen los equipos y características necesarias para que pueda ser transportada en una camioneta.
- Supervisar la construcción de la planta asegurando la calidad final del prototipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento y operación de la planta.
- Entrenar a los operarios de la planta del CENCINAT y proveer de un manual de usuario y mantenimiento del equipo.

### **Alcance**

Entregar a CENCINAT un equipo funcional portátil con capacidad de producción de 300 litros de nanopartículas metálicas, la planta tendrá un volumen aproximado a la capacidad de carga de una camioneta MAZDA BT50. Adicional se entregarán manuales de operación y mantenimiento, así como las hojas técnicas de los componentes de la planta.

El presupuesto máximo de la planta será de \$35.294,04 (*Treinta y cinco mil doscientos noventa y cuatro dólares con cuatro centavos de dolar*), este presupuesto deberá permitir: la adquisición y construcción de todos los equipos, la mano de obra para la construcción y las pruebas de operación.

## Capítulo 2

### Marco teórico

A partir de este capítulo se utilizará “npmh” para nombrar a las (nanopartículas metálicas de hierro).

### Nanociencia y Nanopartículas

#### *Definición*

La nanociencia comprende una escala entre 0.1 y 100 [nm], un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro, o millonésima parte de un milímetro ( $1 \text{ [nm]} = 10^{-9} \text{ [m]}$ ). El estudio en este campo ha demostrado que la materia a nivel atómico puede exhibir propiedades diferentes. (Gómez, 2019)

#### *Sistema Coloidal*

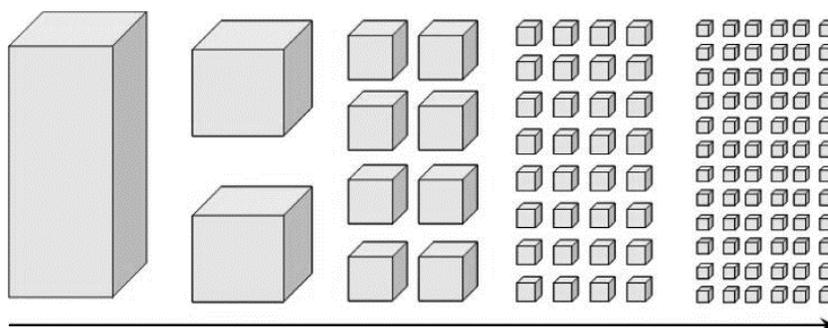
Un medio para poder manipular estas partículas microscópicas es contar con un sistema coloidal, este es conformado por dos o más fases, normalmente una fluida (líquido o gas) y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas, en este caso nanopartículas.

#### *Característica de las Nanopartículas de Hierro*

Las nuevas propiedades se relacionan con la gran energía superficial, a una menor escala la superficie en contacto con estas partículas aumenta, como se observa en la Figura 5 y Figura 6 el número de átomos superficiales aumenta a la vez que los átomos que componen la masa de la materia disminuye en otras palabras cuanto más pequeña es una partícula, la fracción de átomos en la superficie aumenta (Gómez, 2019).

**Figura 5:**

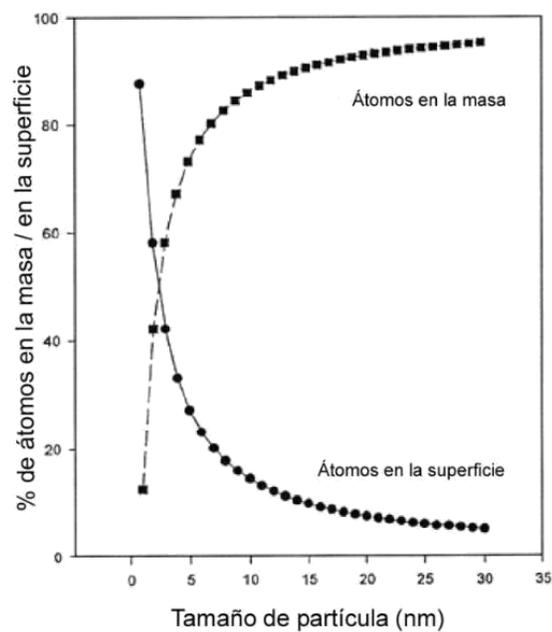
*Aumento de izquierda a derecha de la superficie relativa.*



*Nota: (Cornejo, 2015)*

**Figura 6:**

*Cantidad de átomos en masa vs cantidad de átomos en superficie a nanoescala.*



*Nota: (Cornejo, 2015)*

Las partículas coloidales son inestables y exhiben una tendencia a aglomerarse, así que deben ser estabilizadas para conservar el coloide. La utilización de un agente

estabilizante origina una fuerza de repulsión que contrarresta las fuerzas de Van der Waals<sup>7</sup> que atraen dos partículas a distancias cortas. (Gómez, 2019)

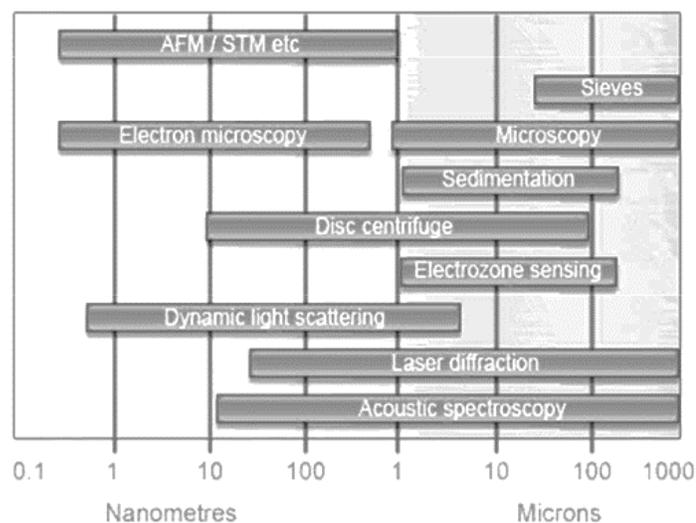
También conocidos como nanopartículas de magnetita, la magnetita es un mineral que se compone de óxidos de hierro, destacado por sus propiedades magnéticas, las nanopartículas de magnetita con diámetros menores a 30 [nm] exhiben un comportamiento paramagnético, lo cual significa que en ausencia de un campo magnético externo, estas partículas tienen magnetización cero y menos tendencia a aglomerarse. (Gregorio & Salinas, 2012)

### ***Medición de Tamaño Para Nanopartículas***

La recolección de las características morfológicas de una nanopartícula implica el uso de equipos sofisticados que utilicen un método concreto, como lo muestra la Figura 7.

#### **Figura 7:**

*Tipos de métodos usados para la medición de partículas menores a 1000 micrones.*



*Nota:* (IESMAT, 2017)

<sup>7</sup> Fuerzas atractivas y/o repulsivas entre moléculas distintas a aquellas debidas a un enlace intermolecular.

Para el análisis del tamaño aproximado y promediado de una solución. Las técnicas conocidas y plausibles en este proyecto son:

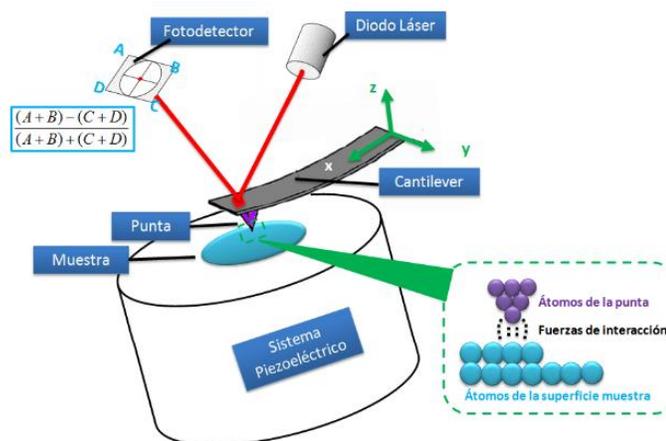
- Microscopía de Fuerzas Atómicas (AFM)

Requiere de una punta muy fina colocada al final de una micropalanca “*cantiléver*”.

Su operación se basa en la medida de la fuerza originada por la interacción entre los átomos de la punta y los átomos de la superficie, estas fuerzas de interacción son medidas a través del desplazamiento del *cantiléver* Figura 8.

### Figura 8:

Diagrama de caracterización de nanopartículas por método AFM.



Nota: (Díaz & Ruano, 2013)

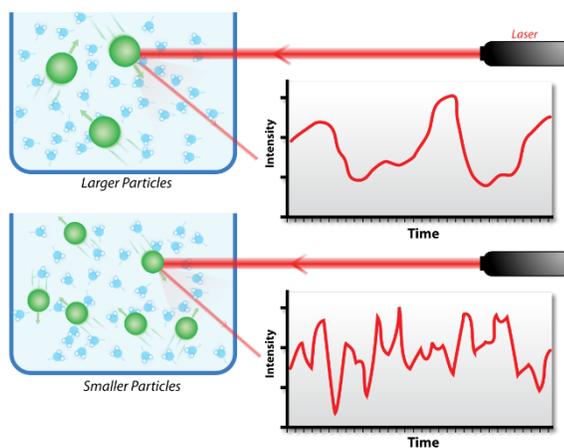
- Difusión dinámica de la luz (DLS)

Es una técnica para medir tamaño submicrónico. Se mide la fluctuación en la intensidad de la luz dispersada producida por el movimiento Browniano<sup>8</sup>. Una técnica no invasiva para caracterizar el tamaño de nanopartículas en dispersión macromoléculas en disolución Figura 9.

<sup>8</sup> El movimiento browniano es el movimiento aleatorio que se observa en las partículas que se hallan en un medio fluido, como resultado de choques contra las moléculas de dicho fluido

**Figura 9:**

Medición de movimiento browniano para obtener tamaño de nanopartículas.



Nota: (IESMAT, 2017)

### **Producción de Nanopartículas Metálicas**

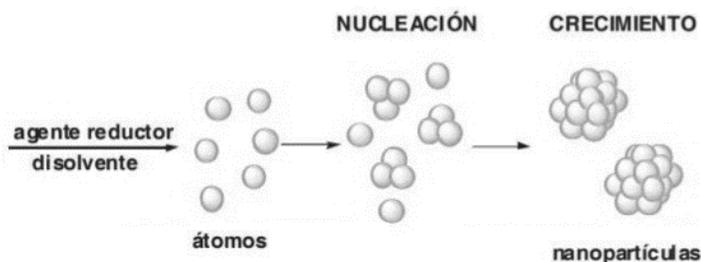
La síntesis de nanopartículas metálicas se puede obtener por dos métodos:

- Método físico (*top-down*), consiste en la subdivisión mecánica del metal.
- Método químico (*bottom-up*), que consiste en la nucleación y el crecimiento de las partículas a partir de los átomos metálicos. (Gómez, 2019)

El equipo de laboratorio del CENCINAT (*Centro de Nanociencia y Nanotecnología*), ha desarrollado el procedimiento para obtención de npmh por método bottom-up, Figura 10.

**Figura 10:**

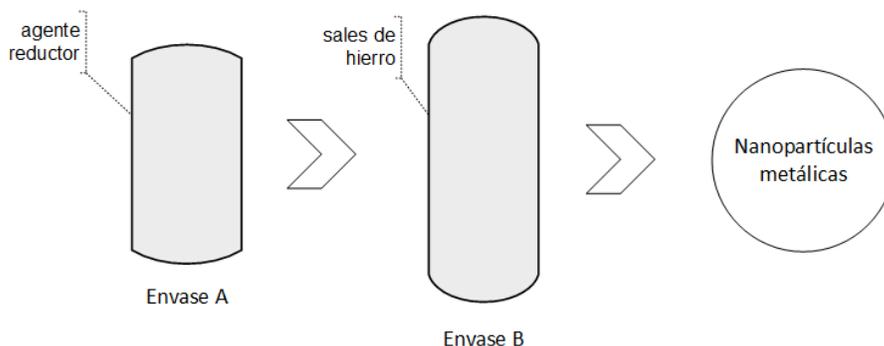
*Síntesis de nanopartículas por el método Bottom-up.*



Estas nanopartículas se forman al reducir una sal metálica con un agente reductor, en este caso se utilizan dos sales de hierro, el envase A, Figura 11 y Figura 12, contendrá al agente reductor: una mezcla de CMC<sup>9</sup>, trisulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) y borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}$ ), el envase B contiene: sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) y cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ). Al verter el agente reductor en las sales de hierro se produce su reducción y nucleación, produciendo npmh.

**Figura 11:**

*Representación de procedimiento de laboratorio para la producción de npmh.*

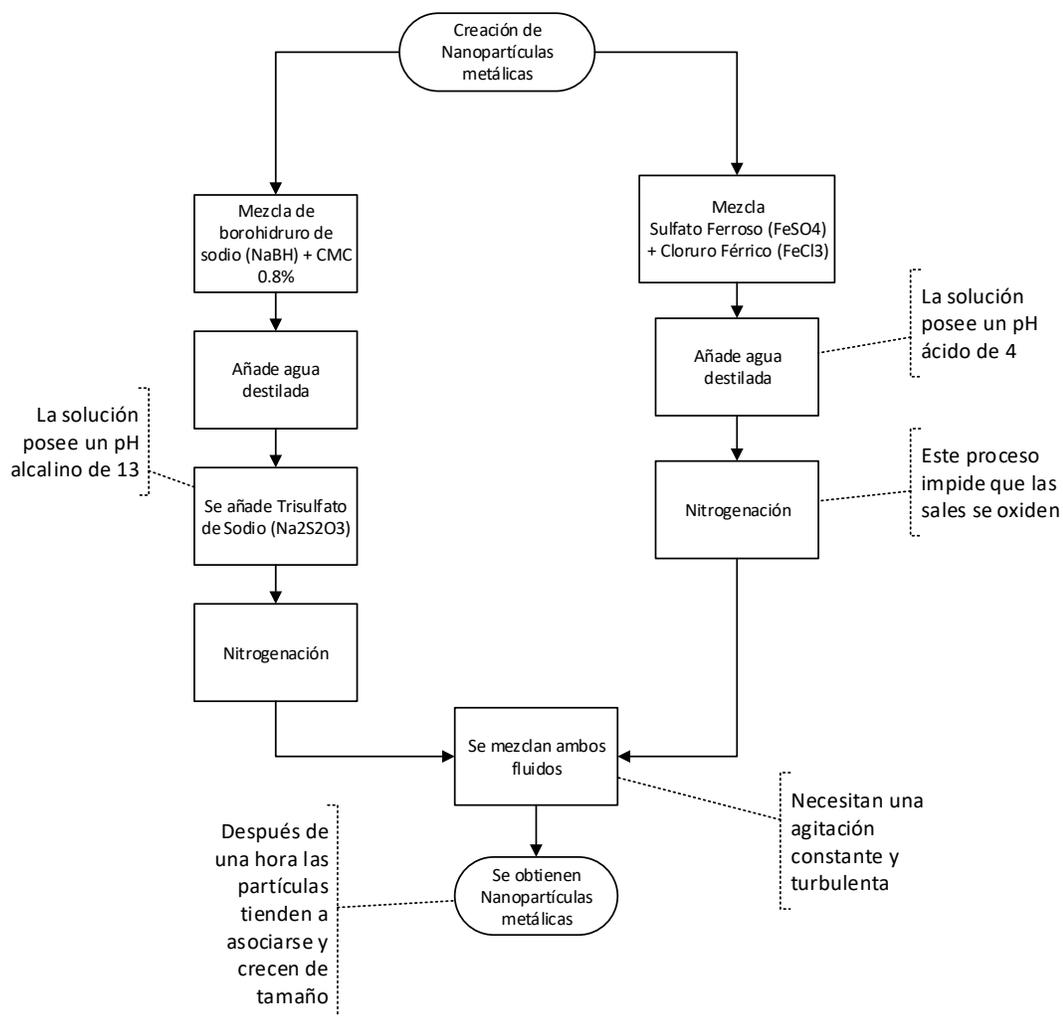



---

<sup>9</sup> CMC es un derivado de celulosa obtenido por modificación química de la celulosa natural. CMC es uno de los polímeros solubles en agua más importantes con muchas ventajas que otros pegamentos naturales no sintéticos. CMC es un polvo blanco fino y fluido.

**Figura 12:**

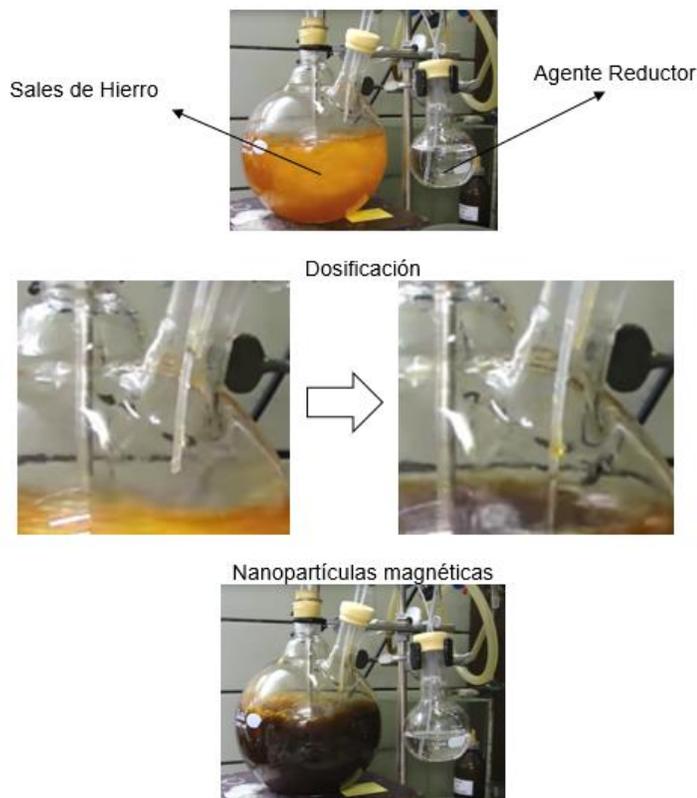
*Diagrama de producción de nanopartículas metálicas proporcionado, CENCINAT – ESPE*



En laboratorios de investigación las dosificaciones se realizan como se visualiza en la Figura 13, la dosificación es directa mediante una válvula manual que abre el paso del líquido y el caudal es regulado por el área transversal del conducto.

**Figura 13:**

*Dosificado en laboratorio de investigación.*



Para el proyecto actual se han definido previamente varios equipos que comprenderán la planta, de entre ellos los más críticos para su funcionamiento serán los sensores para monitorear las condiciones en que se desarrollan las soluciones.

**Sensores.**

Responden ante estímulos del medio que los rodea, permitiendo transmitir de forma eléctrica o visual un valor medible y comparable. En el *pipping* se implementan estos dispositivos para realizar controles de diversas variables como: temperatura, presión, caudal... lo que permite monitorear y automatizar procesos, los sensores se extienden en diversas clasificaciones. Para aplicaciones químicas e hidráulicas, ciencias que manejamos en este proyecto, se definen los siguientes tipos.

### **Temperatura**

Dispositivos que, transducen los cambios de temperatura, en señales eléctricas, los tipos de sensor: termopares, dispositivos de temperatura resistivos (RTD y termistores), radiadores infrarrojos, dispositivos bimetalicos, dispositivos de dilatación de líquido, y dispositivos de cambio de estado. Un termómetro es el sensor más básico de temperatura. (Omega, 2020)

### **Presión**

Un sensor de presión mide parámetros, como las deformaciones, que reaccionan ante las fuerzas ejercidas por un líquido, gas o sólido, se utilizan distintos principios de funcionamiento, un manómetro es un indicador analógico, que usa un tubo Bourdon<sup>10</sup> (Omega, 2020).

### **Velocidad**

Se mide la velocidad usando sensores ópticos, ultrasónicos, inductivos o magnetostáticos, se miden velocidades lineales y de rotación, el sensor puede ser con o sin contacto. (Asia Connection, 2020).

### **Posición**

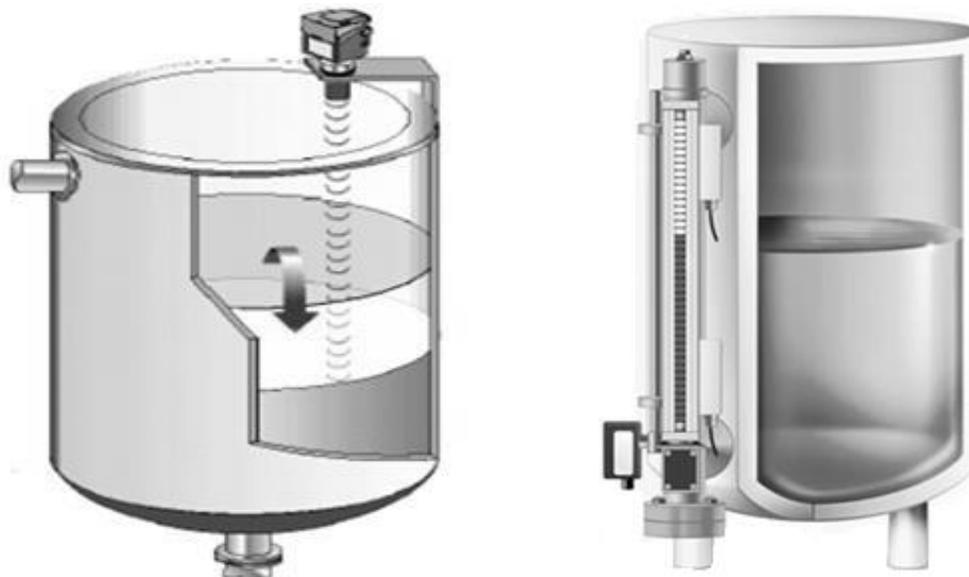
Obtener una confirmación de presencia de algún fluido dentro de un sistema, es la principal aplicación de los sensores de posición, se miden posiciones lineales angulares y permiten determinar la ubicación de un objeto. Se aplica estos sensores en la industria para conocer volúmenes, esto se logra con sensores colocados en niveles de referencia de tanques y recipientes, Figura 14, a lo que se conoce como monitoreo de la capacidad, existen diversos sensores con diferentes tipos de sensores unos requieren estar en contacto o no con el fluido (MecatronicaLATAM, 2020).

---

<sup>10</sup> Tubo Bourdon: tubo metálico, aplanado, hermético, cerrado por un extremo y enrollado en espiral.

**Figura 14:**

*Izquierda, Sensor ultrasónico de nivel. Derecha, Sensor bypass indicador de nivel.*



*Nota: (Elion, 2020)*

### **Electroquímicos**

Inicialmente se utilizaba sensores químicos, tiras impregnadas de reactivos que al ser sometidos a una solución cambiaban su coloración, podía ser interpretado y comparado con alguna referencia. En la industria se necesita una respuesta constante y precisa de los parámetros que se manejan, para ello los sensores electroquímicos usan un electrodo de “Ion Selectivo”, que variará a disposición de la variable que se piensa medir y del entorno en el que se encuentre. Resumidamente el elemento transduce<sup>11</sup> la actividad química del ion en una señal eléctrica. Los parámetros más medidos con el uso de este tipo de sensores son: pH, oxígeno disuelto y ORP (potencial de reducción). (Garrido, 2013)

---

<sup>11</sup> Un transductor es un dispositivo que convierte la energía de una forma a otra. Por lo general, un transductor convierte una señal en una forma de energía en una señal en otra.

- pH: El logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno,  $[H^+]$ , una medida del grado de acidez o alcalinidad que posee una solución.
- OD Oxígeno disuelto: Se define como “la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua” (Sawyer & McCarty, 1978) ley de Henry. Se mide en [ppm] “De acuerdo con la Ley de Henry, el contenido de oxígeno disuelto del agua es proporcional al porcentaje de oxígeno (presión parcial) en el aire sobre él. Como el oxígeno en la atmósfera es de aproximadamente 20.3%, la presión parcial de oxígeno al nivel del mar (1 atm) es 0.203 atm” (Fondriest Environmental, 2013)
- ORP (potencial de reducción): Es la tendencia de las especies químicas a adquirir electrones por medio de un intercambio en un desequilibrio que se produce en una reacción redox<sup>12</sup>. El ORP se define como una medida de la intensidad de sus propiedades oxidantes y reductoras. (Valls, 2019) No se posee una ecuación que vincule estos dos últimos parámetros sin embargo en el proyecto de (Olszewska-Widdrat et al., 2019) se obtienen los resultados, en la Figura 15 una relación de decrecimiento proporcional en ambos parámetros, al reducir la presión parcial del oxígeno se reduce el porcentaje de oxígeno disuelto.

---

<sup>12</sup> Toda reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre los reactivos

**Figura 15:**

Comparación entre medición de ORP y OD.

ORP experiments		Heyen and Schüler, 2003	
ORP	Iron content (mg·g <sup>-1</sup> dry weight)	Oxygen partial pressure (mbar)	Iron content (mg·g <sup>-1</sup> g dry weight)
-500 mV	12.8 (±3.4)	0.25	9.8
-250 mV	11.4 (±2.9)	2	7.9
0 mV	7.4 (±1.9)	10	5.7

*Iron content measurements reported by Heyen and Schüler (2003) for AMB-1 strain (right column) reported for different oxygen partial pressure.*

Nota: (Olszewska-Widdrat et al., 2019)

**Estructuras Metálicas (Skid Metálicos)**

Los skids<sup>13</sup>, Figura 16, son diseñados para ser transportables, de fácil y rápida operación, el acero se ha coronado como el material preferido para la construcción por su alta resistencia, uniformidad, elasticidad y durabilidad (Urbán Brotons, 2009).

**Figura 16:**

Skid metálico. Dosificación e inyección de químicos.



Nota: (Novatec S.A., 2020)

---

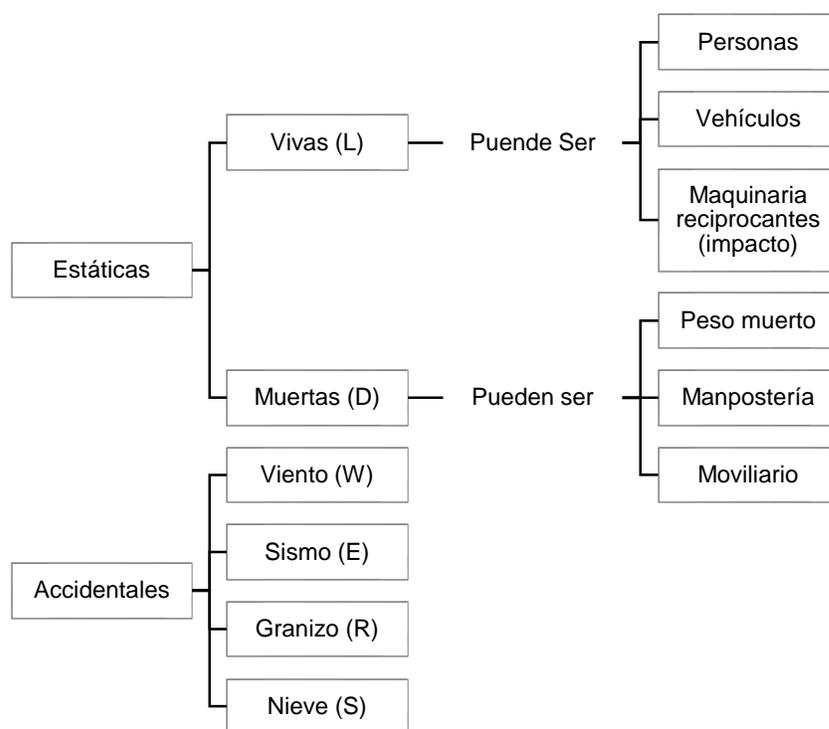
<sup>13</sup> Equipos montados en un marco metálico que permite realizar un proceso y ser fácilmente transportado.

### ***Tipos de Cargas***

El principio de funcionamiento de las estructuras metálicas es soportar su propio peso; ciertas estructuras necesitan además soportar equipos, personal y mobiliario. Para el correcto diseño se debe especificar principalmente las cargas que deberá soportar la estructura. Las cargas se dividen según la Figura 17. Teniendo en cuenta esto se diseña un sistema estructural que resulte tanto cómodo y seguro para los usuarios; no deben presentarse, vibraciones incómodas ni deflexiones perceptibles mucho menos que se deterioren los acabados arquitectónicos (Bermúdez, 2005).

**Figura 17:**

*Tipos de cargas en sistemas estructurales.*



Los métodos de cálculo estructural que cumpla con las exigencias antes mencionadas son el ASD<sup>14</sup> (diseño de esfuerzos admisibles): se basa en el principio de que las

---

<sup>14</sup> ASD: Allowed Stress Design

tensiones desarrolladas en los miembros estructurales no deben exceder una cierta fracción del límite elástico. Por otro lado está el método LRFD<sup>15</sup> (diseño de factor de carga y resistencia), “se basa en el principio de que la resistencia de varios materiales se reduce por algunos factores, mientras que las cargas aplicadas se incrementan por algunos factores y, por lo tanto, los elementos estructurales se diseñan utilizando una resistencia reducida y cargas aumentadas” (Hasan, 2016).

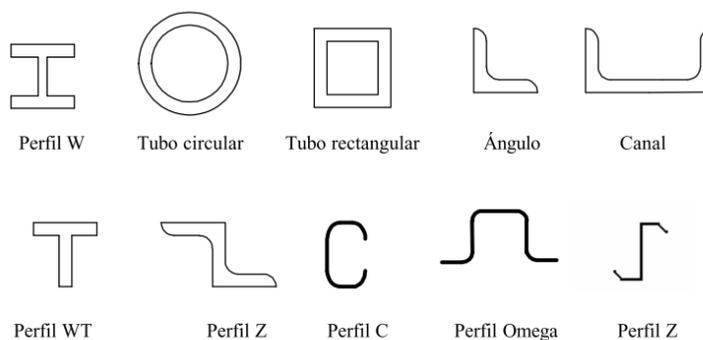
El método LRFD obtiene diseños más económicos y seguros de manera consistente. Por otro lado el método ASD es más conservador, elevando más la resistencia con un factor de seguridad más alto.

### ***Elementos de Construcción.***

**Perfiles.** Los perfiles usados en estructuras metálicas han pasado por un sistema de calificación impuesto por la ASTM de manera que se estandariza las formas y dimensiones que los perfiles pueden tener, la Figura 18 muestra los perfiles más comunes usados en la industria.

### **Figura 18:**

*Perfiles estructurales más usados.*



*Nota:* (Bermúdez, 2005)

---

15 LRFD: Load and Resistance Factor Design

**Materiales.** Varios metales son empleados en la industria mecánica, estos destacan por la versatilidad que poseen. En la Figura 19, se muestran ejemplos: el acero es usado en la mayoría de proyecto, su alta resistencia lo hace idóneo para tanques y máquinas reciprocantes; el aluminio es un material, resistente y ligero, se aplica en pasarelas, canastas y jaulas, soporta muy poco peso comparado con el acero.

**Figura 19:**

*Izquierda: Skid metálico de acero, sistema de inyección de químicos. Derecha: Skid metálico de aluminio, canasta*



*Nota:* (DES S.A., 2020; Soldaduras Planells, 2020)

**Normas de construcción**

Las cargas de diseño cumplirán las normas:

- Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers. ASCE 7-10.

El diseño de la estructura de acero, estará basado en los códigos:

- American Institute of Steel Construction. Specification for Structural Steel buildings. AISC 360 -10.
- NEC 15 – Norma Ecuatoriana de la Construcción: De esta norma se extrae la ecuación para obtener la máxima deriva elástica permisible para garantizar la

condición óptima de servicio que deberá tener la estructura metálica. La Figura 20 y Figura 21 muestran los coeficientes necesarios para definir dicha ecuación.

$$\Delta m = 0,75 * R * \Delta E$$

**Figura 20:**

*Valores máximos de derivas de piso, expresados como fracción de la altura de piso.*

Estructuras de:	$\Delta_M$ máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

**Figura 21:**

*Coefficiente R para sistemas estructurales dúctiles.*

Sistemas Estructurales Dúctiles	R
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
<b>Pórticos resistentes a momentos</b>	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
<b>Otros sistemas estructurales para edificaciones</b>	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5

Serviceability design considerations for steel buildings. American Institute of Steel Construction: Para viabilizar las deflexiones producidas en vigas o perfiles metálicos debido a las cargas que soportan, se obtiene la Figura 22, de este catálogo.

**Figura 22:**

*Serviceability Design Considerations for Steel Buildings (Second Edition).*

CONSTRUCTION	LIVE	SNOW OR WIND	DEAD + LIVE
Roof members:			
Supporting plaster ceiling	// 360	// 360	// 240
Supporting nonplaster ceiling	// 240	// 240	// 180
Not supporting ceiling	// 180	// 180	// 120
Roof members supporting metal roofing:	// 150	-	// 60
Floor Members	// 360	-	// 240
Exterior walls and interior partitions:			
With brittle finishes	-	// 240	-
With flexible finishes	-	// 120	-
Secondary wall members supporting metal siding	-	// 90	-

### **Movilidad y Transporte**

Debido a que al proyecto es móvil, se planea movilizarlo de acuerdo a las actividades que se necesiten posterior a la finalización del mismo, es importante conocer las leyes que rigen sobre los vehículos de transporte. Para ello se remiten las leyes que rigen este tipo de vehículo terrestre.

#### ***Movilidad en Ecuador***

El Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial (2012) clasifica el tipo de transporte de acuerdo a los bienes o pasajeros que movilice, de acuerdo a esto se dividen en varios grupos de los cuales se presentan los más importantes o más próximos al tipo de movilización que se realizará.

1. Carga liviana: Se especifica un máximo de 3.5 toneladas de capacidad de carga para ser movilizada de un punto a otro con la debida protección.
2. Transporte mixto: Se transporta personas e incluido carga pero esta no deberá exceder las 1.2 toneladas de capacidad de carga, con un máximo de hasta 5 personas (sin incluir el conductor) que sean responsables de estos bienes, la carga será dispuesta con la correcta protección y aseguramiento.

3. Carga Pesada: La carga de transporte sobrepasa las 3.5 toneladas, se necesita de vehículos certificados que permitan soportar la capacidad de carga.

Fuente (Art62, 2014)

El Reglamento a Ley de Transporte Terrestre Transito y Seguridad Vial (2012) establece que los vehículos de transporte terrestre de sustancias tóxicas y peligrosas no pueden circular por carriles centrales cuando la carga:

1. Sobresalga de la parte delantera o de los costados, salvo cuando se obtenga el permiso correspondiente;
2. Sobresalga la parte posterior por más de dos metros; y si pasa de 1,20, se obliga a utilizar banderolas en el día y luces en la noche;
3. Obstruya la visibilidad del conductor;
4. No esté debidamente cubierta con lonas, tratándose de materiales que pueden esparcirse;
5. No vaya debidamente sujeta al vehículo por medio de cables;
6. Sin contar con un dispositivo localizador de vehículo, equipos o sistemas de control de proyección para impedir el robo del vehículo o de su carga, y de que estos funcionen correctamente en cualquier momento, tratándose de mercancías peligrosas de alto riesgo.

Fuente (Art49, 2014)

En la Tabla 1 se especifican las siguientes dimensiones que puede tener un vehículo de acuerdo a la clasificación en base a la carga que transporta. “La altura máxima de los vehículos con sus cargas, permitidas en la circulación por las vías de Quito es de 4.10m”. (Art4, 2005)

**Tabla 1:**

*Clasificación general de los valores vehículos de carga.*

<b>Clasificación</b>	<b>Longitud máxima [m]</b>	<b>Ancho máximo [m]</b>	<b>No. de ejes</b>	<b>No. de llantas</b>
Carga liviana	7.5	2.3	2	4 – 6
Carga media	12	2.6	2 – 3	6 – 10
Carga pesada	18.3	2.6	3 – 6	10 – 22

*Nota:* (Art4, 2005)

### **Manejo de Cargas**

En la ingeniería y el desarrollo de proyectos se da casos que es necesario manejar elementos que poseen un gran volumen o peso. Debido al alto grado de criticidad que pueden generar estas cargas, es importante denotar la seguridad que se debe efectuar para su manejo, tanto el personal que desarrolle la operación como los equipos deben tener prácticas correctas para prevenir incidentes o accidentes. (Molina, 2012)

Los equipos mecánicos están capacitados para realizar izaje y desplazamiento de materia u objetos entre distintos puntos estos pueden presentar distintas características que se basan en la carga que se planea desplazar, al igual de la zona en la que se planea trabajar, equipos como:

- Puente grúa
- Grúa móvil
- Camión grúa
- Montacargas

### **Aseguramiento de Carga**

Para movilizar una carga de una localidad a otra, a varios kilómetros de distancia, es necesario de un vehículo que permita soportar la carga y asegurarla ante movimientos y desplazamientos previniendo daños a la carga o a terceros. (Dolezych Chile, 2016)

El trincaje es la operación de controlar el transporte mediante sujeciones de diversos tipos como: cadenas, cintas, redes, cables y estrobos, Figura 23, con diferentes accesorios que aseguren la carga en todo momento de su transporte.

**Figura 23:**

*Trincaje realizado con cintas de poliéster para soportar bloques de concreto en su transporte.*



*Nota:* (Bemar, 2018)

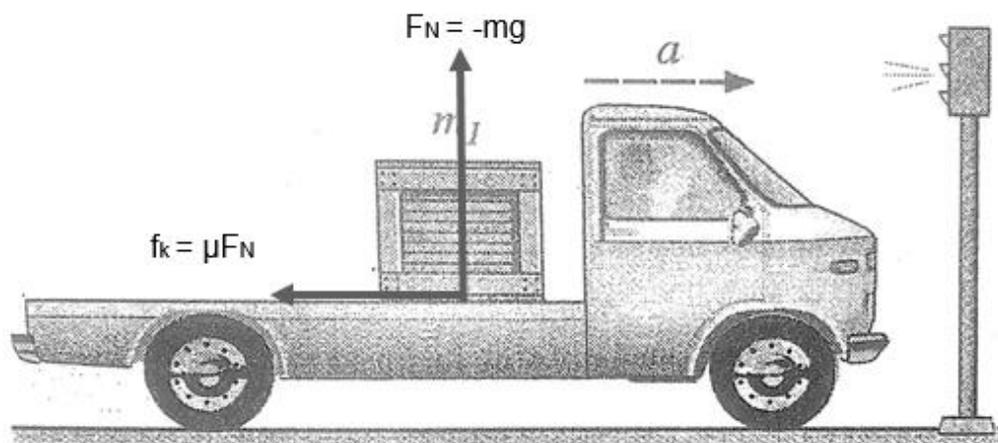
En el transporte de carga se producirán dos cargas fundamentales que controlar el diseño o la variante que se necesitará para un aseguramiento de la carga adecuado, las fuerzas principales dependerán del vector aceleración, este se pueden generar en varios sentidos.

- Longitudinal: Cuando el vehículo realiza un frenado la carga tiende a ir hacia la cabina del conductor ejerciendo un 80% del peso de la carga y si avanza produciendo una aceleración se estima un 50% de carga, Figura 24 que ejerce una fuerza hacia atrás.
- Transversal: En curvas la carga producirá un fuerza del 50% de la carga y en caso de que la carga sea alta, se estima un 70%, esto con el propósito de evitar volteo.

- Vertical: Esta fuerza no es común y su valor es menor comparado con las otras dos direcciones, sin embargo se la toma en cuenta debido a golpes por baches sobresaltos en la carretera que generarían una fuerza en sentido vertical se estima el 80% de la carga para estas fuerzas (Dolezych Chile, 2016).

#### Figura 24:

*Diagrama de fuerzas presentes en el transporte de carga, dependiendo de la dirección a la que se efectúa la aceleración.*



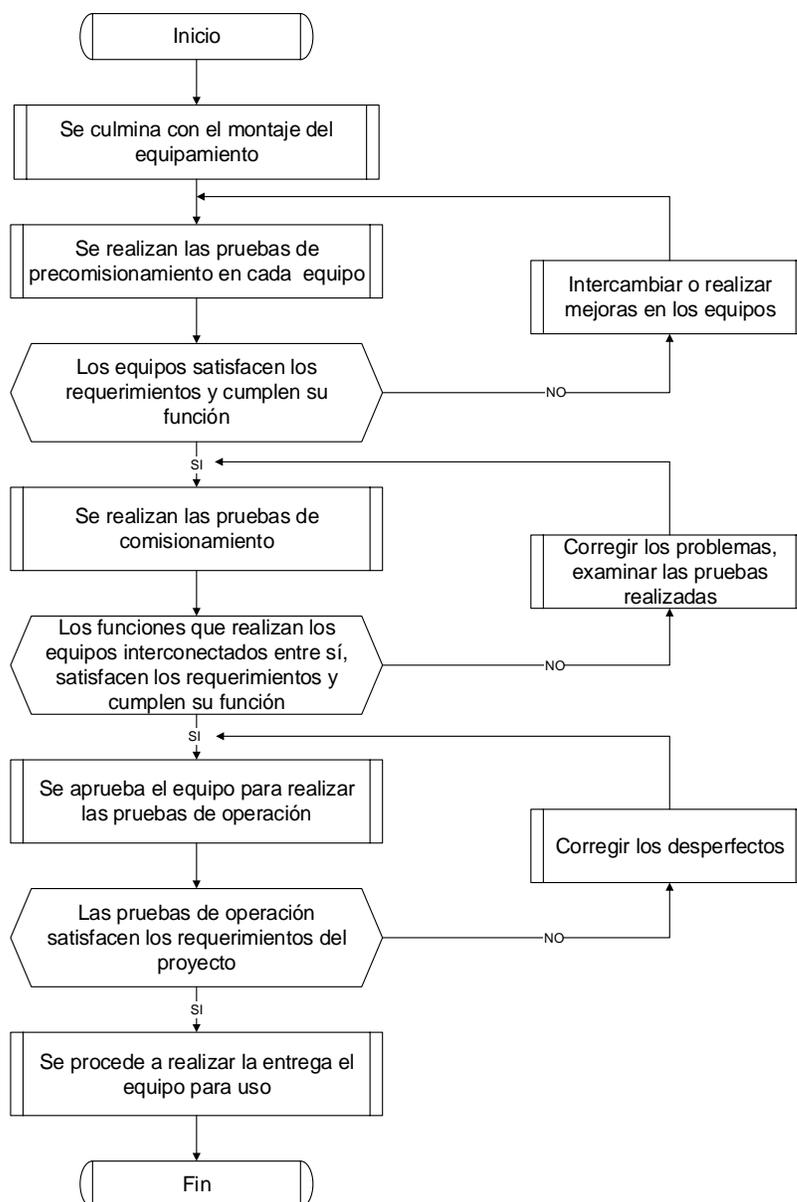
#### Control de Calidad de la Construcción

El control de la calidad ha tomado un puesto muy importante en toda industria competitiva, en el transcurso de proyectos se realizan constantemente comprobaciones de calidad en materiales, mano de obra, procedimientos aplicados y planificación de programación, procesos verificados por reglamentos que corroboran el procedimiento realizado y es consecuente con el producto final. (Ortega, 2014)

El control de calidad se realiza por medio de varias herramientas que pueden ser utilizadas para obtener el mismo resultado garantizar el producto final, En la Figura 25 se presenta los pasos a seguir para verificar la calidad al finalizar el proceso de construcción de un equipo.

**Figura 25:**

*Diagrama de flujo: proceso de control de la calidad.*



*Nota:* (Aucancela & Saquicuya, 2013)

La metodología usada en este diagrama de flujo refiere al proceso de control de la calidad que se centra en actividades de verificación a través de las técnicas de precomisionamiento y comisionamiento. Estos procesos permiten:

- Detectar riesgos y mitigarlos antes de su puesta en marcha.

- Reducir costos debido a mal funcionamiento e inconvenientes.
- Capacitar a los operadores
- Generar documentos que permitan trazar la construcción e instalación de equipos.

### ***Precomisionamiento***

Consiste en la elaboración de documentación a través de la verificación de actividades en frío del producto a diagnosticar, esto implica pruebas estáticas o desenergizadas de los ítems que componen los equipos. Para ello se realizan, dependiendo del ítem a inspeccionar dos tipos de pruebas:

- Chequeo de conformidad: Se realiza la inspección de equipos instrumentos, dimensiones, materiales... que se deben comparar con los planos de construcción, códigos y estándares usados para el diseño del proyecto.
- Pruebas estáticas: Para asegurar la calidad del equipo se somete a pruebas en frío, que involucran varias disciplinas como por ejemplo: alineamiento de ejes, configuración de válvulas, pruebas de continuidad en tuberías y cableado eléctrico.

Las pruebas de precomisionamiento se realizan una por cada ítem, estas verifican las especificaciones técnicas requeridas.(Ortega, 2014)

### ***Comisionamiento***

Este proceso de verificación se centra en los procesos dinámicos, las funciones principales y elementales de la planta, pruebas en línea que vinculen los distintos equipos en un proceso definido. Se realizan a secciones o subsistemas organizados de acuerdo a las conexiones que poseen. Ejemplos típicos son: corridas de motores eléctricos, pruebas cíclicas, operaciones con tableros de control... el objetivo primordial es ejecutar de un modo estructurado, eficaz y documentado el conjunto de acciones que se requieren

para lograr un arranque efectivo y sin problemas de cualquier planta. Se suele involucrar al personal que posterior a la entrega del equipo tendrá control total, de manera que se entrene al personal en el uso del producto. (Ortega, 2014)

### ***Puesta en Marcha***

Todas las actividades previas son requeridas para la introducción de la materia prima en la planta, se debe finalizar el proceso de gestión de calidad con una prueba de control para observar el comportamiento bajo condiciones de diseño. Esta operación debe ceñirse estrictamente a las instrucciones de los manuales de operación. Esta será verificada con los operadores y con las entidades a cargo del proyecto para su posterior entrega. (Chavez, 2016)

### **Mantenimiento Industrial**

De manera que el equipo continúe con su vida útil de trabajo y presente un propio comportamiento durante su operación, se debe establecer la gestión del mantenimiento, acciones que permitan prolongar el perfecto estado de funcionamiento de un equipo. Para ellos se debe asegurar la disponibilidad y confiabilidad de las operaciones mediante un óptimo mantenimiento. (Loayza & Morocho, 2019)

Este proceso tiene como objetivo mantener la calidad de producción de la planta de manera que asegure el cumplimiento de las necesidades del cliente durante el tiempo de uso del equipo. La teoría de mantenimiento se divide en tres procedimientos básicos:

- Mantenimiento preventivo: La programación de procedimientos previos que eviten la ocurrencia de fallas en las máquinas o los equipos del proceso, este procedimiento se efectúa mediante pruebas periódicas dependiendo del equipo y su uso pueden ser semanales, mensuales o anuales.
- Mantenimiento correctivo: Este procedimiento de mantenimiento se realiza en el momento previo a presentarse una falla es el equipo quien determina las

paradas. Su principal objetivo es el de poner en marcha el equipo lo más pronto posible y con el mínimo costo que permita la situación.

- Mantenimiento predictivo: Esta modalidad supone una inversión considerable en tecnología mediante la aplicación de mediciones no destructivas que permitan conocer el estado de funcionamiento de máquinas y equipos en operación. (Salazar, 2019)

### ***Manual de Mantenimiento***

Este documento proporciona información del equipo que se planea utilizar, se ejecutan como un medio de comunicación entre el diseñador y el operador del equipo, ubicar sus componentes, detallar las especificaciones técnicas y de diseño, los procedimientos de operación permiten establecer un apoyo en las actividades de mantenimiento de las instalaciones y equipos de empresa. Las ventajas de usar este tipo de documentación son:

- Elevar la capacidad de respuesta de la máquina aumentando su disponibilidad esto mejora las condiciones de producción previniendo fallos así los equipos siempre están aptos y en condición de operación.
- Conservar el estado de la planta minimizando el deterioro y previniendo el deterioro del mismo, amortiguando el devalúo.
- Previniendo errores se garantiza una alta confiabilidad en los productos o servicios prestados. (Albornoz, 2018)

## Capítulo 3

### Requerimientos de la planta

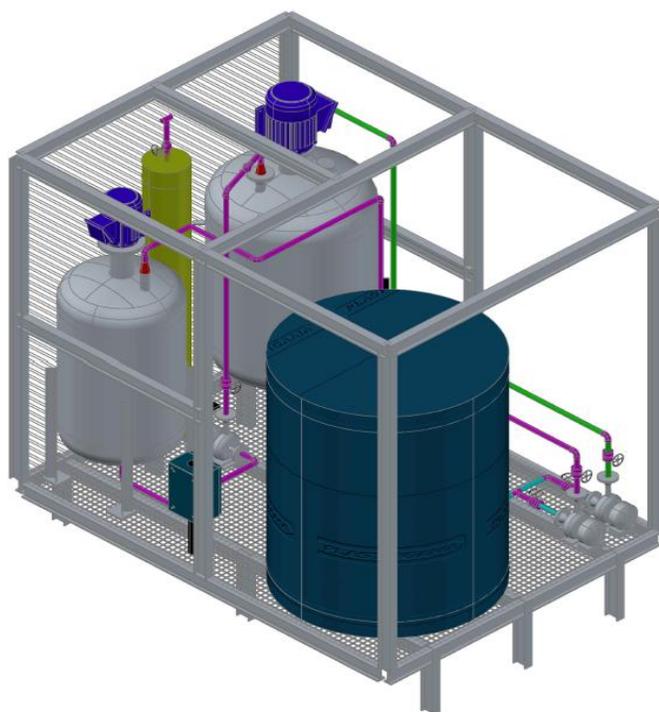
En el presente capítulo se realiza una comparación y complementación del proceso efectuado por (Perugachi, 2020), para la selección de los equipos que conformarán la planta de producción de npmh.

### Revisión del Diseño Original

En la propuesta original, Figura 26, se establecieron los equipos necesarios partiendo del diseño mecánico de los reactores de mezcla, de acuerdo a las dimensiones y características obtenidas en estos equipos, se realizó la configuración del resto de la planta.

### Figura 26:

*Propuesta de diseño para planta de producción de npmh.*



*Nota: (Perugachi, 2020)*

### Proceso de Producción

Con la finalidad de comprender el procedimiento concreto, conocer las reacciones y eventos que tendrán a lugar, incluido los equipos que son necesarios para la elaboración de npmh, se realizó un ensayo de laboratorio en el cual se reprodujo el método propuesto por el personal de departamento del CENCINAT, se obtuvo un informe detallado de acciones y elementos que definen las características del proceso de fabricación. En la Tabla 2, se procede a realizar una reseña de este ensayo de laboratorio y se realiza una comparación con el diseño establecido por (Perugachi, 2020).

**Tabla 2:**

*Procedimiento para la obtención de npmh mediante la propuesta de la laboratorista Ambar Oñate en el CENCINAT. En comparación al diseño propuesto en la fase 1.*

	<b>Proceso CENCINAT</b>	<b>Diseño propuesto</b>
Almacenamiento	<p>Los químicos están correctamente clasificados y colocados en envases que impiden su deterioro.</p> 	<p>No se identificó ningún procedimiento o equipo encargado de este proceso. La planta cuenta con un tanque de 600 litros de agua.</p>
Pesaje y dosificación	<p>Se pesaron y ordenaron los químicos necesarios</p> 	<p>La dosificación viene preparada por los operadores de la planta.</p>

	<b>Proceso CENCINAT</b>	<b>Diseño propuesto</b>
<b>Mezclado y dosificado</b>	<p>Los químicos se disuelven en agua destilada, respectivamente en dos matraces, uno contendrá la solución reductora y el otro: sales de hierro.</p> 	<p>Los reactores son equipos que realizan agitación por revolución mientras mantienen un sistema cerrado o aislado, se utilizan dos de ellos.</p> 
<b>Nitrogenación</b>	<p>Se nitrogena la solución mediante un capilar situado en el fondo del matraz, esto previene la oxidación de nph.</p> 	<p>La planta se diseñó para funcionar con el suministro de una bombona de nitrógeno ubicada entre los reactores.</p>
<b>Sensoado</b>	<p>El control de pH o OD no se realizó, debido a que en una solución tan pequeña, en este procedimiento, se puede controlar mediante observación y confiando en las unidades pesadas.</p>	<p>Debido que el proceso se realizará a gran escala, el diseño planteado sugiere varios sensores: pH, OD, ORP, nivel, presión y temperatura.</p>

### Proceso CENCINAT

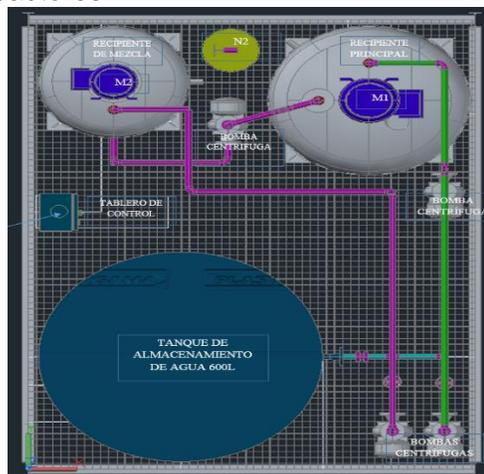
Se realiza un mezclado de partes iguales de las dos soluciones, finalizando con la obtención de npmh.



Nucleación de npmh

### Diseño propuesto

Para la mezcla final se utiliza los mismos reactores, se hace uso de bombas centrífugas para trasladar las soluciones entre reactores.



*Nota: En la columna de la izquierda se han colocado fotografías tomadas en el laboratorio del CENCINAT, al momento de realizar el ensayo, la siguiente columna posee imágenes obtenidas de (Perugachi, 2020).*

Al finalizar el procedimiento se obtuvo una solución de color negruzco y consistencia acuosa, Figura 27, la fina capa de material adherido al matraz son aglomeraciones de npmh, estas partículas se oxidan rápidamente en presencia del oxígeno de la habitación.

### Figura 27:

*Nanopartículas metálicas de hierro producidas en condiciones de laboratorio.*

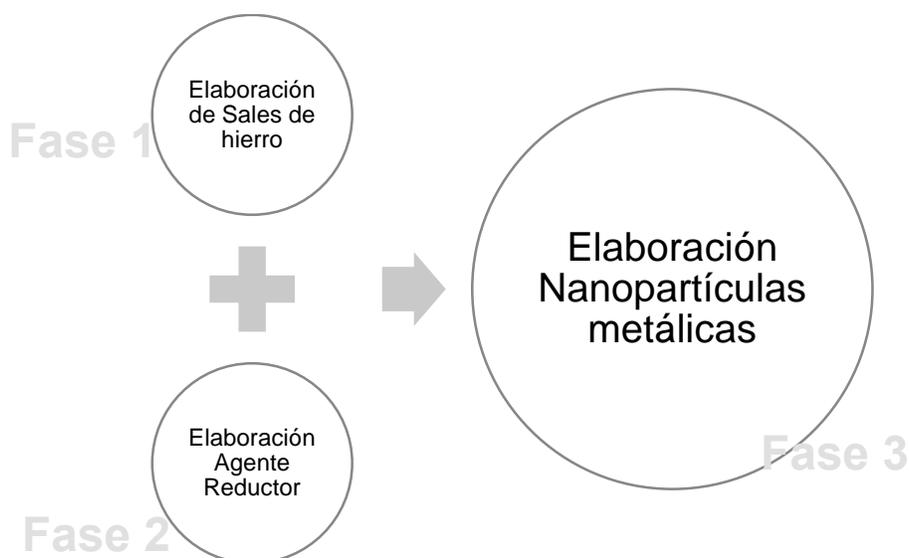


**Sugerencias del Personal de Laboratorio.** No exponer a las partículas al medio ambiente, la oxidación es el principal problema, las vuelve deficientes, se busca un valor de 0.7 ppm de oxígeno disuelto. Las partículas tienden a asociarse después de una hora. Al paso de un día estas perderán sus cualidades magnéticas, se deben utilizar tan pronto como se las elaboren.

**Fases del Proceso.** Se definen tres fases importantes en el proceso de producción, las dos primeras fases no son consecutivas, no poseen un vínculo entre sí, por tal motivo se pueden realizar conjuntamente, Figura 28.

**Figura 28:**

*Fases en la elaboración de npmh.*



**Características Obtenidas.** En la siguiente lista, Tabla 3, se resumen las características más importantes obtenidas al realizar el procedimiento en laboratorio.

**Tabla 3:**

*Abstracción de informe realizado en CENCINAT para procedimiento de elaboración de npmh.*

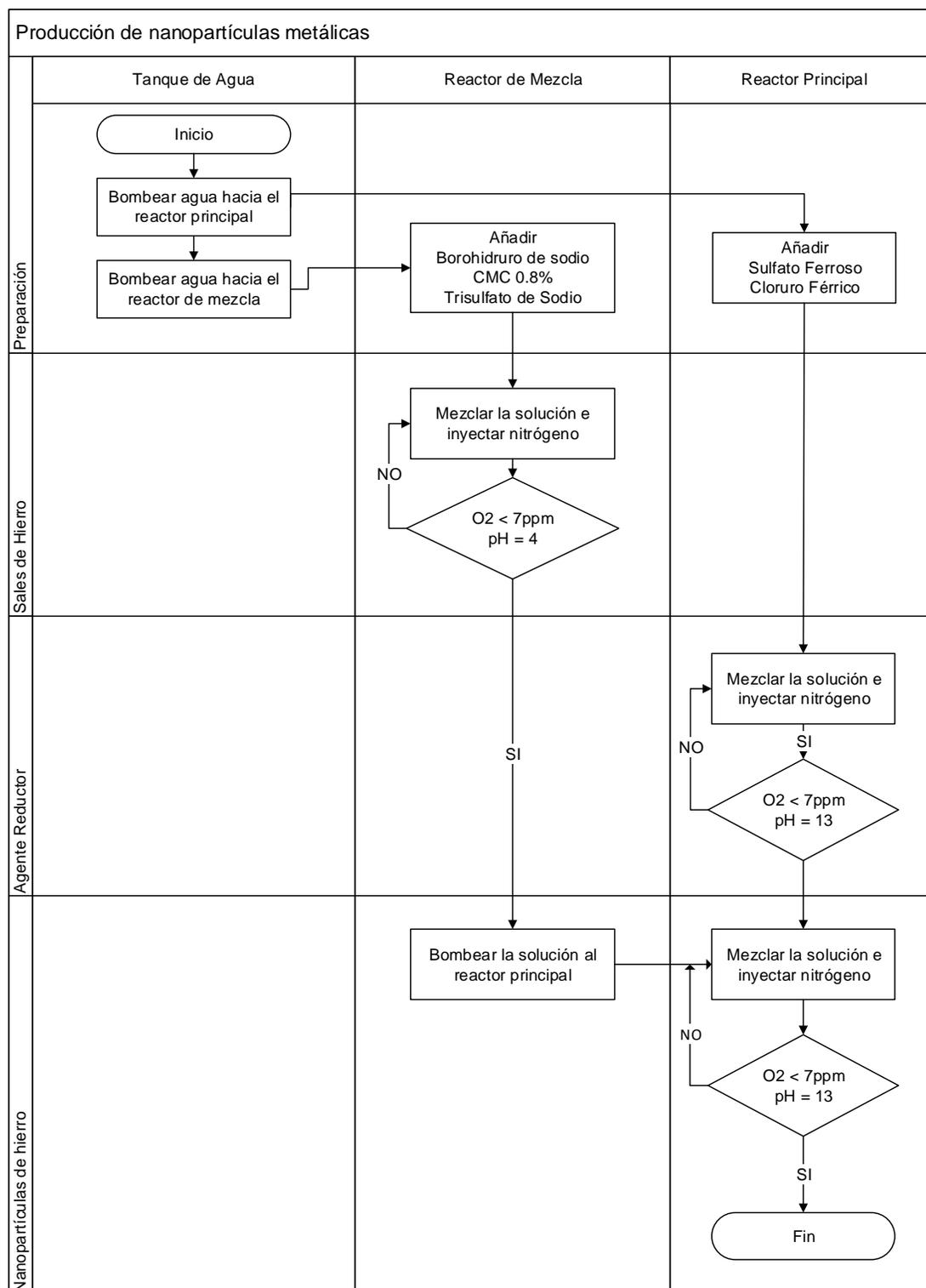
<b>Fases</b>	<b>Análisis</b>	<b>Denominación</b>
<b>Elaboración de Sales de hierro</b>	Materiales usados	Agua destilada
		Sulfato ferroso
		Cloruro férrico
	Equipos Usados	Recipientes
		Agitadores
	Propiedades	pH 4 (solución ácida) Presenta oxidación
<b>Elaboración de Agente reductor</b>	Materiales usados	Borohidruro de sodio
		CMC 0.8%
		Sulfato de sodio
		Agua Destilada
	Equipos Usados	Recipientes
		Agitadores
Propiedades	pH 13 (solución alcalina)	
<b>Elaboración de Nanopartículas de hierro</b>	Materiales usados	Sales metálicas
		Agente reductor
	Equipos Usados	Recipientes
	Propiedades	pH 13 (solución alcalina) Presenta oxidación

### **Desarrollo del Proceso**

Con los datos recopilados se realiza el siguiente flujograma, Figura 29, se establecen los tres principales equipos en la parte superior y las fases de producción de npmh, en el lado izquierdo, con esta disposición ordenada de eventos se conceptualiza un diagrama de equipos que cumpla con dicho proceso, Figura 30.

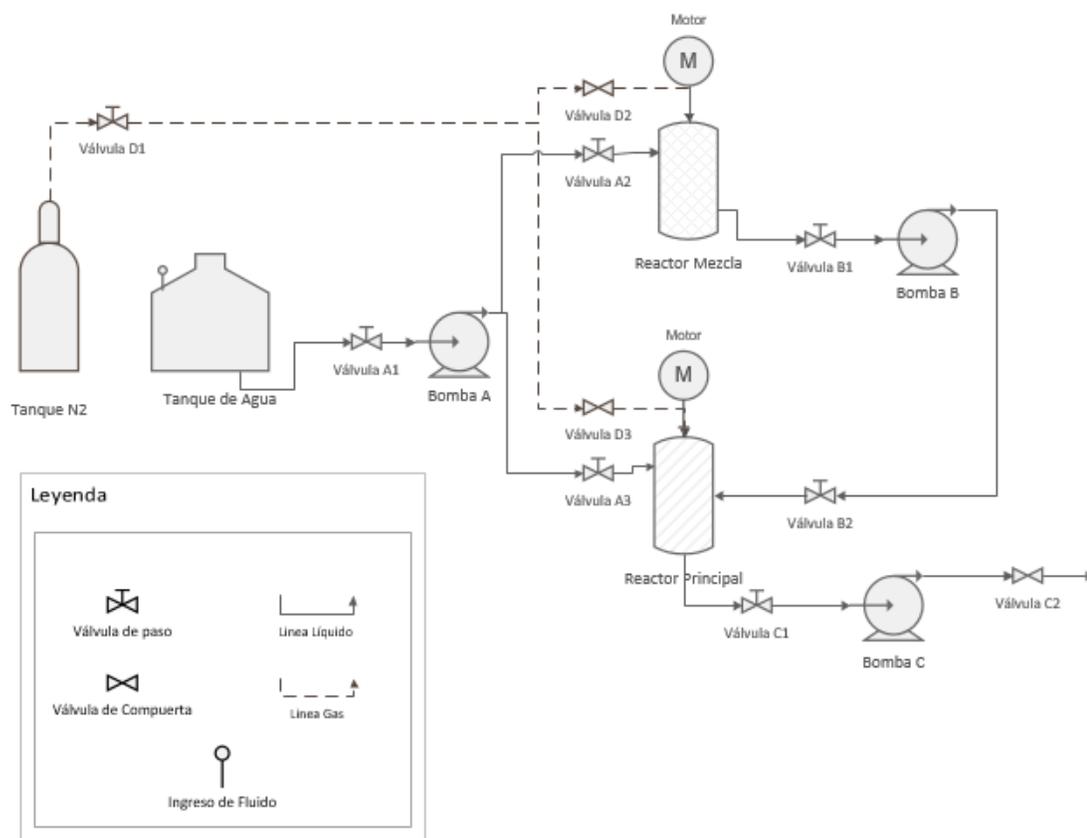
Figura 29:

Diagrama de flujo cruzado en proceso de producción de npmh.



**Figura 30:**

*Diagrama equipos conjuntos para proceso de producción de npmh.*



### Especificaciones Técnicas de los Equipos

De acuerdo a los datos recopilados, se enlista la cantidad de equipos necesarios para conformar la planta de nanopartículas:

- Dos reactores.
- Tanque de agua.
- Tres bombas centrífugas.
- Dos motores y un generador eléctrico.
- Sensores: de pH, OD, nivel, temperatura y presión.

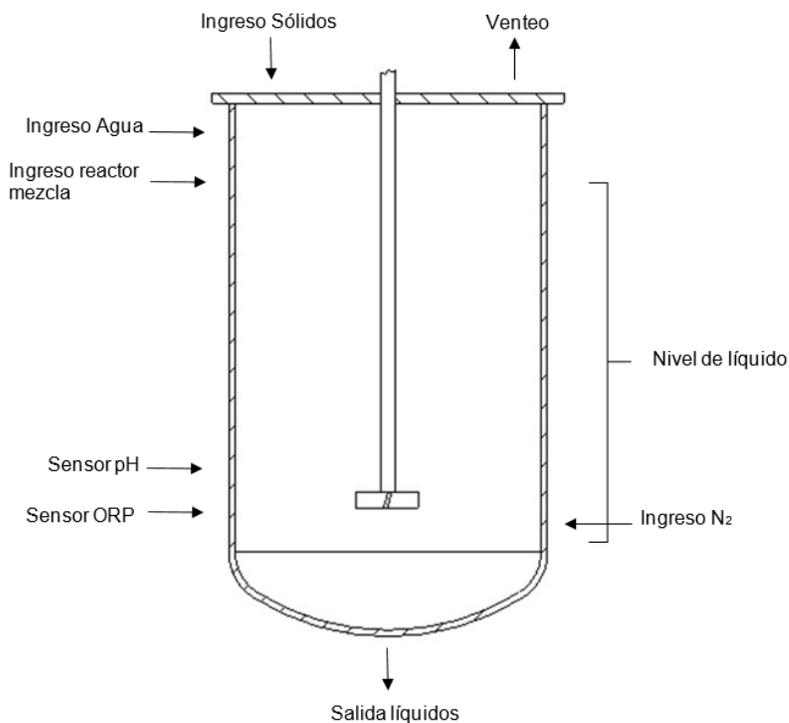
### **Reactor Principal**

Los reactores realizan el mezclado para cada fase de producción, este reactor, realizará la fase 1 y 3 que se logrará una vez que el reactor de mezcla realice la fase 2. La Figura 31 muestra un esquema de las disposiciones de entradas y salidas, así como los sensores que el recipiente necesita.

- Ambiente alcalino.
- Capacidad máxima, 300 litros, debido al objetivo principal del proyecto.
- Mantenimiento interno y externo del tanque.
- Se suministrará agua, materia prima y electricidad.
- Monitoreo de pH, oxígeno disuelto y nivel de líquido.

**Figura 31:**

*Diagrama conceptual reactor principal.*



La mejor estrategia para estos equipos es diseñarlos y construirlos con profesionales locales. Los reactores son diseñados por (Perugachi, 2020), Figura 32, en la Tabla 4, se definió los parámetros que serán necesarios para su diseño y las características del reactor que se resumen en la Tabla 5.

**Tabla 4:**

*Parámetros de diseño para reactor principal.*

<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Valor</b>
Volumen de trabajo [m <sup>3</sup> ]	0.5
Fluido de trabajo	Agua
Material	Acero Inoxidable
Temperatura de operación [°C]	35
Presión externa de Diseño [psi]	14.7
Presión interna de Diseño [psi]	>14.7*
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
Viscosidad Dinámica [Pa s]	0.01013

*Nota:* \*Debido a que se generan gases excedentes de los procesos químicos la presión en un sistema asilado puede aumentar. (Perugachi, 2020)

**Tabla 5:**

*Características del reactor principal.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Diámetro externo [in]	32 (812.8 mm)
Altura cuerpo cilíndrico [in]	25.19
Espesor de cilindro [in]	0.1875
Espesor de la cabeza [in]	0.1875
Presión externa de diseño [psig]	15
Presión atmosférica [psi]	15
Temperatura de diseño [°C]	25
Corrosión admisible cuerpo [in]	1/16
Corrosión admisible cabezas [in]	1/16
Eficiencia de la junta de cabeza	0.85
Nivel de líquido [%]	75
Peso [kg]	120.95

*Nota:* (Perugachi, 2020)

**Figura 32:**

*Modelo CAD para reactor principal.*



*Nota:* (Perugachi, 2020)

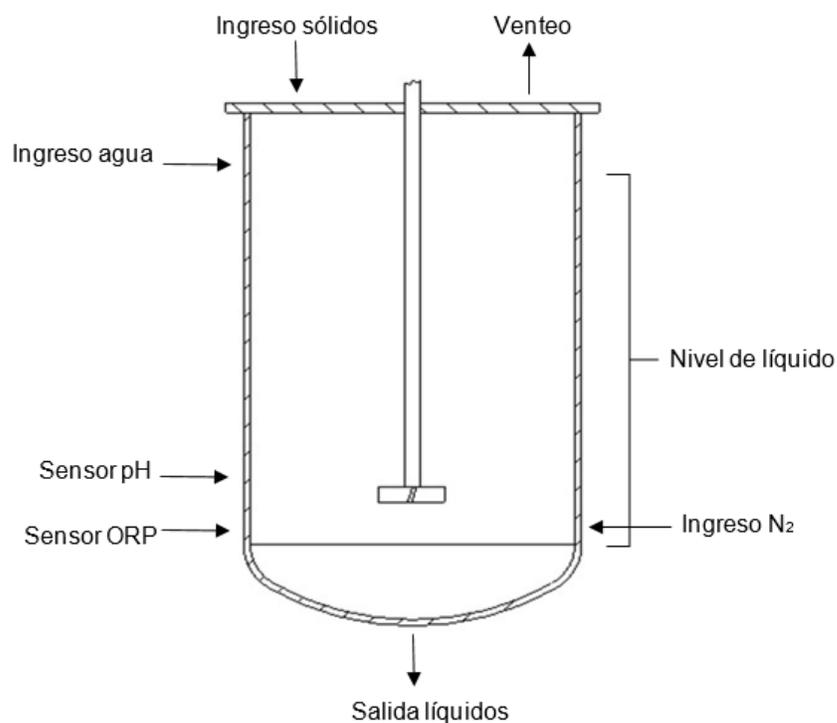
***Reactor Mezcla***

El reactor de mezcla realizará la fase 2, que una vez finalizado su mezclado enviará el producto al reactor principal, este equipo contará con las mismas características del reactor principal, diferenciando su tamaño, en la Figura 33 se muestra un esquema de la disposición de entradas, salidas y sensores que el recipiente necesita.

- Capacidad máxima, 150 litros, a petición de Cencinat.
- Ambiente ácido.
- Mantenimiento interno y externo del tanque.
- Se suministrará agua, materia prima y electricidad.
- Monitoreo de pH, oxígeno disuelto y nivel de líquido.

**Figura 33:**

Diagrama conceptual reactor mezcla.

**Tabla 6:**

Parámetros de diseño para reactor de mezcla.

Parámetro de diseño	Valor
Volumen de trabajo [m <sup>3</sup> ]	0.2
Fluido de trabajo	Agua
Material	Acero Inoxidable
Temperatura de operación [°C]	35
Presión externa de Diseño [psi]	14.7
Presión interna de Diseño [psi]	>14.7*
Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	1000
Viscosidad Dinámica [Pa s]	0.01013

Nota: \*Debido a que se generan gases excedentes de los procesos químicos la presión en un sistema asilado puede aumentar. (Perugachi, 2020)

**Tabla 7:***Características del reactor de mezcla.*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Diámetro externo [in]	20 (508 mm)
Altura cuerpo cilíndrico [in]	34.45
Espesor de cilindro [in]	0.1875
Espesor de la cabeza [in]	0.1875
Presión externa de diseño [psig]	15
Presión atmosférica [psi]	15
Temperatura de diseño [°C]	25
Corrosión admisible cuerpo [in]	1/16
Corrosión admisible cabezas [in]	1/16
Eficiencia de la junta de cabeza	0.85
Nivel de líquido [%]	75
Peso [kg]	58.35

*Nota:* (Perugachi, 2020)***Tanque de Agua***

Este equipo servirá como reservorio para almacenar agua. El terreno de prueba puede o no poseer un acuífero, la capacidad del tanque se define en función del espacio disponible en el transporte, añadiendo la necesidad de realizar la mayor cantidad de pruebas y por ende un buen suministro. En la Figura 34, se muestra la variedad de equipos con los que cuenta una sola marca como lo es Rotoplas, el mercado ofrece varias marcas y dimensiones, Tabla 8.

**Figura 34:**

*Variedad de tanques plásticos rotoplas.*



*Nota:* (Rotoplas, 2020)

**Tabla 8:**

*Capacidades tinacos rotoplas.*

Capacidad [L]	Diámetro [m]	Altura [m]
450	0.85	0.99
600	0.97	1.12
750	1.10	1.02
1100	1.10	1.40
2500	1.55	1.60

*Nota:* (Rotoplas, 2020)

### **Bombas Hidráulicas**

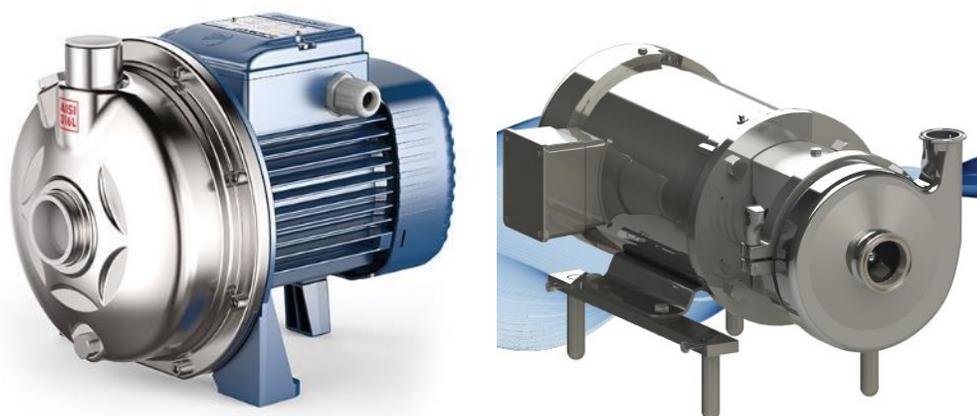
Las características que se buscan en las electrobombas hidráulicas con configuración centrífuga, son las siguientes:

- Tiempo rápido de llenado.
- Soluciones ácidas y alcalinas.
- Fácil mantenimiento.
- Baja potencia.
- Resistente al medio ambiente.

Para definir un caudal adecuado y con eso definir la potencia que tendrá la bomba se comparó dos empresas que suministran estos equipos a nivel nacional Figura 35, usando las gráficas de comportamiento de cada bomba anexo 1 se tomaron los equipos con menor potencia, Tabla 9, donde la bomba 1: Pedrollo AL-RED 600-4 0.5 [hp]. Y bomba 2: Q-Pumps. QC 100 3500, 3/4 [hp].

**Figura 35:**

*Izquierda: Electrobomba centrífuga Pedrollo, AL-RED. Derecha: Electrobomba centrífuga Q-Pumps. QC 100*



*Nota: (Petrollo, 2012; Q-Pumps, 2020)*

**Tabla 9:**

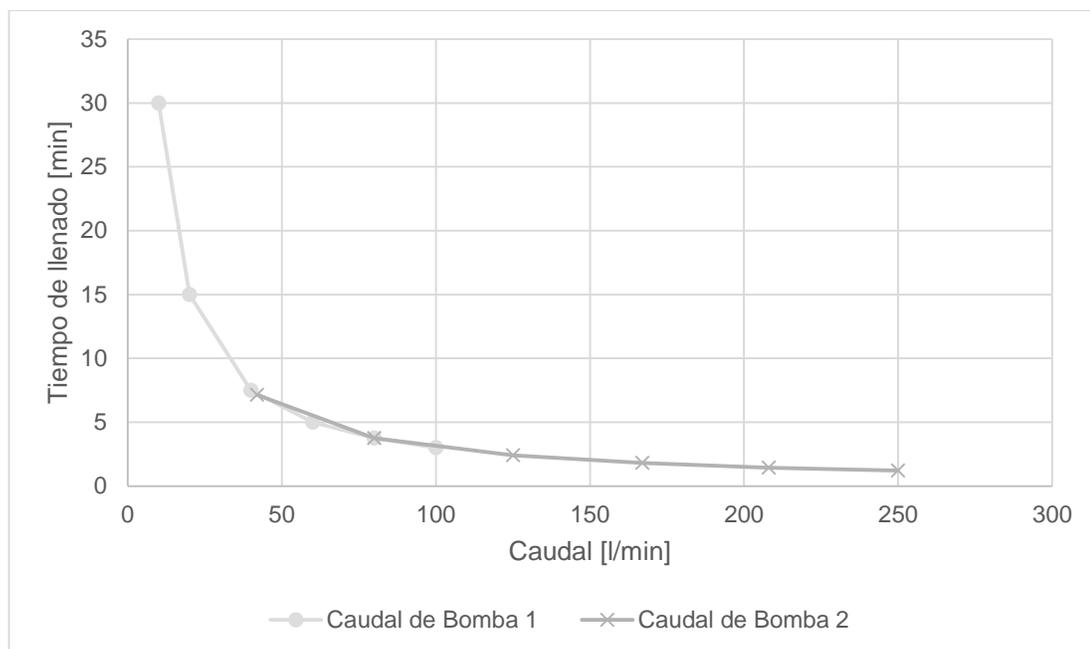
*Caudales y tiempos de llenado de electrobombas hidráulicas.*

<b>Caudal bomba 1 [l/min]</b>	<b>Tiempo de llenado [min]</b>	<b>Caudal bomba 2 [l/min]</b>	<b>Tiempo de llenado [min]</b>
10	30	42	7.14
20	15	80	3.75
40	7.5	125	2.40
60	5	167	1.80
80	3.75	208	1.44
100	3	250	1.20

*Nota: Se registró los valores proporcionados por los catálogos de cada empresa, usando las bombas de menor capacidad para tener una referencia del caudal necesario, se registra la siguiente Figura 36.*

**Figura 36:**

*Tiempo de llenado de un recipiente de 300 litros.*



El caudal es inversamente proporcional al tiempo de llenado, mientras más cantidad de fluido se mueva el tiempo será menor, bajo este concepto se ubica un tiempo aproximado a 10 minutos de llenado. Basándose en la gráfica, después de caudales mayores a 40 [l/min] las bombas se comportan igual. Por tal motivo un caudal de 30 a 50 [l/min] es el idóneo.

Tomando estos conceptos y datos se realiza una matriz de decisión para seleccionar de estos dos equipos a la electrobomba hidráulica que se implementará en la planta.

**Tabla 10:**

*Matriz de decisión equipo: Bombas hidráulicas.*

<b>Parámetro</b>	<b>Bomba 1</b>	<b>Bomba 2</b>
Costo	4	2
Espacio de trabajo	3	2
Volumen de producción	3	4
Mantenimiento	3	4
Caudal promedio	5	3

Parámetro	Bomba 1	Bomba 2
	18	15

*Nota: El criterio de evaluación va desde el 1 a 5, siendo "1" deficiente y "5" destacable.*

Las bombas Pedrollo son de alta confiabilidad su cuerpo aunque no es completamente de acero inoxidable como los equipos de Q-Pumps, usa el material en el rodete y carcasa, sitios donde el fluido tendrá contacto con la bomba, reduciendo su costo, teniendo equipos pequeños y capaces de producir el caudal idóneo es la mejor opción.

### **Motores**

Para realizar la mezcla de las soluciones de cada reactor se necesitará de un motor con la potencia suficiente para mover el fluido y realizar la disolución y mezcla de las materias primas, estos equipos se sujetan ante las siguientes especificaciones.

- Fácil mantenimiento.
- Baja potencia.
- Resistente al medio ambiente.
- Liviano
- Para aumentar la utilidad del proceso de mezclado los equipos deberán contar con la posibilidad de invertir el giro.

Para el reactor principal (Perugachi, 2020) especificó las características necesarias para garantizar el desarrollo de condiciones de turbulencia, a fin de obtener la solución al movimiento del fluido, concluyendo que es necesario un equipo de 3 [hp] para el reactor principal. El proceso para controlar la velocidad y sentido de giro se controlará por medio de variadores de frecuencia y un sistema reductor acoplado al motor, la Tabla 11 resume estos datos.

**Tabla 11:**

*Características de motores.*

<b>Motor del equipo</b>	<b>Potencia [hp]</b>	<b>Velocidad [rpm]</b>
Reactor principal	3	400 – 450
Reactor de mezcla	1	100 – 150

*Nota:* (Perugachi, 2020)

Se consultó precios de motores comerciales, este equipo al igual que el tanque de agua tiene gran variedad en el mercado en cuestión de calidad, potencia y modelos.

La Tabla 12 muestra los motores consultados.

**Tabla 12:**

*Motores consultados para selección.*

<b>Modelo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Empresa</b>	<b>Características</b>
(Motor 1) Motor WEG W22 trifásico 1200 [RPM]		ProElectric	Potencia: 1 [hp] a 75 [hp]  Facilidad de mantenimiento.  Crecimiento en las aplicaciones con velocidad variable, utilizando convertidores.
(Motor 2) Motores Tri-fásicos WEG		Importadora OR-BEA	Potencia: ½ [hp] a 30 [hp]  Voltaje 220/380V

*Nota:* Se priorizó a las empresas más destacadas en búsquedas nacionales online.

En este caso los fabricantes tienen parámetros muy parecidos y escoger un equipo se dispondrá de parámetro más redundantes como su costo.

### **Instrumentación**

Para los sensores se necesitan cumplir las siguientes necesidades.

- Fácil mantenimiento.
- Resistente al medio ambiente.

**Sensor de Nivel.** Para censar el nivel se optó por un proceso visual, análogo que permita un monitoreo constante del volumen del fluido para esto se usará un nivel tipo Bypass, se contrata a la empresa DISETEC<sup>16</sup> que realiza instalaciones de este tipo de niveles. No existe gran variedad de producto. Por lo tanto se implementó directamente este instrumento.

**Sensor pH y ORP.** Estos sensores son equipos muy especializados para realizar su función, a nivel nacional la empresa Hanna Instrument distribuye equipos químicos y de las empresas consultadas es la más versátil en equipos, de entre los cuales se obtuvieron los siguientes equipos.

**Tabla 13:**

*Características de sensores, empresa Hanna instrument.*

<b>Modelo</b>	<b>Equipo</b>	<b>Parámetros de medición</b>	<b>Costo</b>
(Sensor 1) Multiparamétrico con sondas individuales. Medida de pH, CE, OD		pH Oxígeno disuelto Conductividad	655,00€

<sup>16</sup> <http://www.disetec-ec.com/equipos-insumos-soluciones-industriales-instrumentos-medicion-quito-ecuador.php>

Modelo	Equipo	Parámetros de medición	Costo
(Sensor 2) Multiparamétrico con portasondas múltiple. Medida simultánea de pH, CE y OD		Electrodos intercambiables: pH, OD, ORP, CE	1 385,00€
(Sensor 3) Electrodo de pH y ORP con matching pin para instalación en tubería o en línea		Electrodo único pH o ORP Necesita un equipo traductor externo.	215\$ + 211\$ = 428\$

*Nota: Los multiparamétricos solo necesitan de un electro para medir varias características.*

Para realizar la selección del equipo se muestra la Tabla 14 donde se realiza un juicio de valor a los equipos consultados.

**Tabla 14:**

*Matriz de decisión para sensores electroquímicos.*

Parámetro	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3
Costo	4	3	5
Cantidad de mediciones a parámetros en un solo equipo	4	5	3
Mantenimiento	2	1	4
Precisión	4	4	2
Dificultad de montaje	2	2	5
	16	15	19

*Nota: El criterio de evaluación va desde el 1 a 5, siendo "1" deficiente y "5" destacable.*

El equipo idóneo será el sensor tres que posee la configuración adecuada: un cuerpo acoplable, puede ser calibrado y realiza una medición constante del fluido. El equipo externo de traducción de datos, permite colocarlo en el panel de control. Este tipo de sensor no mide valores de OD en cambio mide valores de ORP como se estableció en el marco teórico, los valores de ORP y OD tienden a ser proporcionales, permitiendo tener una referencia, lo que deberá reforzarse en las pruebas de funcionamiento y especificándolo en el manual de operación.

### **Generador**

El generador portátil suministrará la potencia adecuada para mantener el equipo funcionando durante todo un lote de producción este deberá ser:

- De bajo peso
- Fácil mantenimiento.
- Resistente al medio ambiente.

Para determinar la potencia que necesitamos, se suma la potencia de cada equipo eléctrico. En la Tabla 15 se resumen el cálculo.

**Tabla 15:**

*Consumo eléctrico de la planta.*

<b>Equipos</b>	<b>Potencia [hp]</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Potencia [hp]</b>
Bombas	1	3	3
Motores	1	1	1
	3	1	3
			Total: 7

*Nota: Se suma el total de equipos y se multiplica por su potencia unitaria, esto da el consumo máximo que generará la planta y ante el cual se elige la potencia del generador.*

El generador deberá suministrar un mínimo de 7 [hp] de potencia para garantizar que si diera el caso las tres bombas y los dos motores podrán operar. Se realiza la comparación de dos equipos en la Tabla 16 y se justifica en la Tabla 17.

**Tabla 16:**

*Especificaciones de generadores comerciales consultados a nivel nacional.*

<b>Generador</b>	<b>Especificaciones</b>
Generador (1)  <p>MÁXIMO PODER A TU ALCANCE ¡NUEVOS GENERADORES DIESEL!</p>	Uso Continuo: 6.5 horas Tanque: 14.5 Lts Monofasico: Potencia máxima 8000w / Potencia continua 7200W Trifasico: Potencia máxima 6400w / Potencia continua 5800W Peso: 120 kg
Generador (2) 	Uso Continuo: 10 horas Tanque: 25 Lts Trifasico: Potencia máxima 6500w / Potencia continua 5800W Peso: 100 kg Voltaje de salida: 120 /240 V

*Nota: Se priorizó a las empresas más destacadas en búsquedas nacionales online.*

**Tabla 17:**

*Matriz de decisión generadores eléctricos.*

<b>Parámetro</b>	<b>Generador 1</b>	<b>Generador 2</b>
Costo	3	4
Mantenimiento	4	4
Tiempo de funcionamiento	4	5
Peso	3	4
Potencia continua	5	4
Total	19	21

*Nota: El criterio de evaluación va desde el 1 a 5, siendo "1" deficiente y "5" destacable.*

### **Selección de Equipos**

En la Tabla 18 se presenta una síntesis de los equipos principales que comprenderán el prototipo.

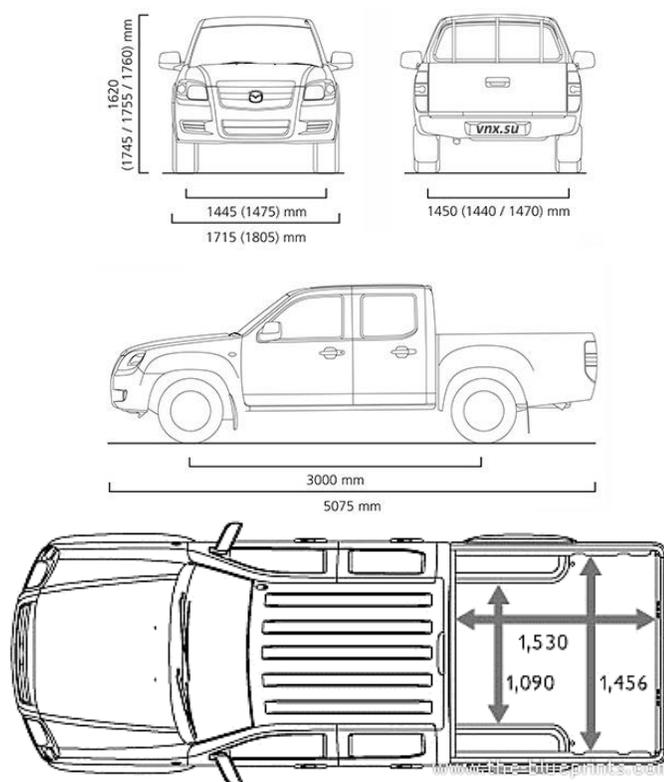
**Tabla 18:***Equipos comerciales seleccionados.*

<b>Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Características</b>
Electrobomba hidráulica	2	Marca: Pedrollo Serie: AI RED 135m Potencia: 1[HP] Peso: 9 [Kg]
	1	Marca: Pedrollo Serie: AI REDm 660H-4 Potencia: 2[HP] Peso: 15.7 [Kg]
Motor eléctrico	1	Marca: Varelly Serie: MS-80M2-4 Potencia: 1[HP] RPM: 150 [rpm] Peso: 14 [Kg]
	1	Marca: Varelly Serie: MS-90L-4 Potencia: 2[HP] RPM: 450 [rpm] Peso: 22.3 [Kg]
Tanque de agua	1	Marca: Ecotank Capacidad: 600[L] Diámetro: 85 [cm] Altura: 130 [cm]
Generador eléctrico	1	Marca: Porten Potencia: 5500 [W] Peso: 97 [Kg]
Sensor pH	2	Distribuidor: Hanna Instruments Rango: 0.00 a 14.00 [pH] Resolución: 0.01 [pH]
Sensor ORP	2	Distribuidor: Hanna Instruments Rango: -1000 a 1000 [mV] Resolución: 1 [mV]
Sensor nivel Bypass	2	Distribuidor: DISETEC

*Nota: Las características de los productos, son obtenidas de los catálogos de los equipos adjuntos en los anexos o en el dossier de construcción.*

### **Layout de la Planta**

Para el transporte de la planta se ha escogido una camioneta Mazda BT-50 doble cabina, con capacidad de carga de las dimensiones se representan en la Figura 37.

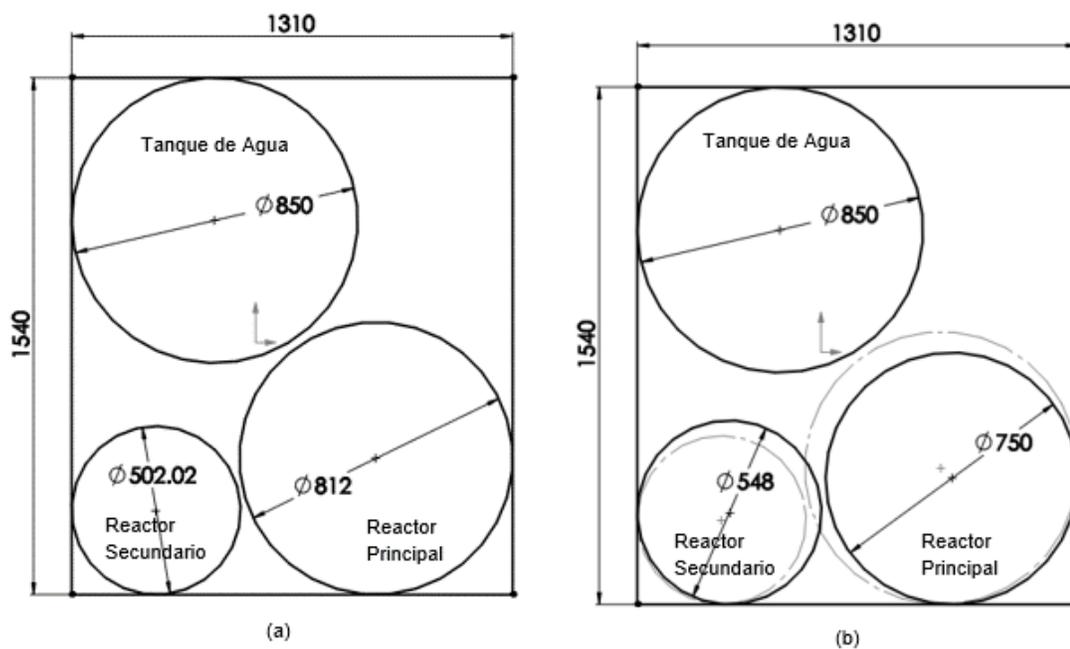
**Figura 37:***Dimensiones de camioneta Mazda BT-50.*

Nota: (AllDrawings, 2020)

Usando el diámetro del tanque de agua como punto de partida se realiza una comparación en la Figura 38, se muestran las disposiciones que tendrán estos equipos. (a) las dimensiones originales del reactor principal muestra una disposición muy ajustada, si se consideran las conexiones y líneas de suministro entre los recipientes. La disposición (b) permite una distribución más espaciosa para el paso de tuberías y cableado entre los tanques, sin embargo para lograr esto es necesario reducir un 8% el diámetro del reactor principal. Hecho que no modifica el desarrollo de las nanopartículas y los parámetros de turbulencia en el recipiente. La altura de los reactores compensará el volumen necesario.

**Figura 38:**

(a) Disposición de los recipientes principales con medidas originales. (b) Disposición de los recipientes realizando ajuste para mayor holgura



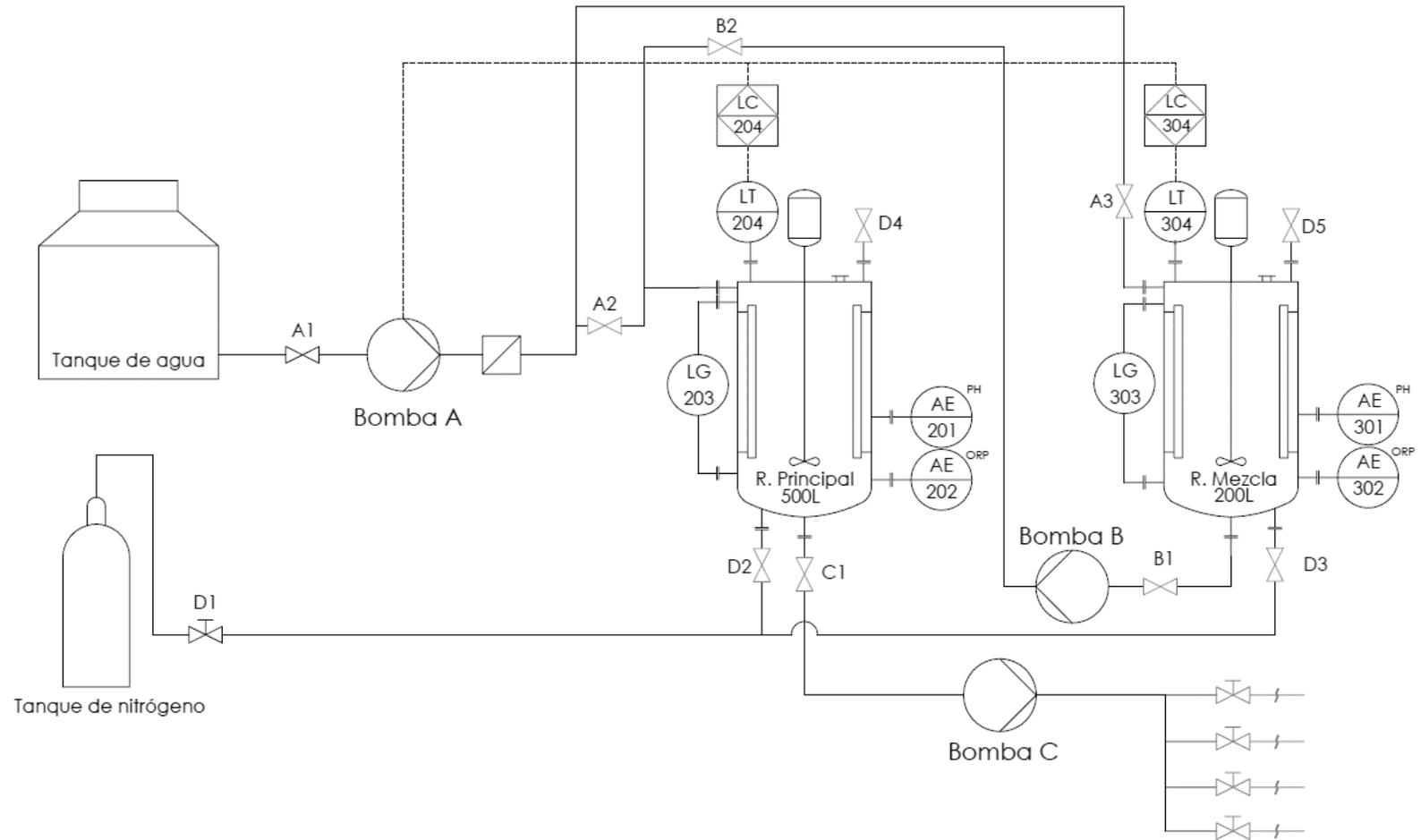
Conociendo las características de todos los equipos se realiza los diagramas de construcción, El P&ID de la Figura 39, basado en la norma ISA<sup>17</sup> S5.1 2009 y el diagrama unifilar de la Figura 42. Los planos de construcción se especifican en el Capítulo 5 y se adjuntan en el anexo 2.

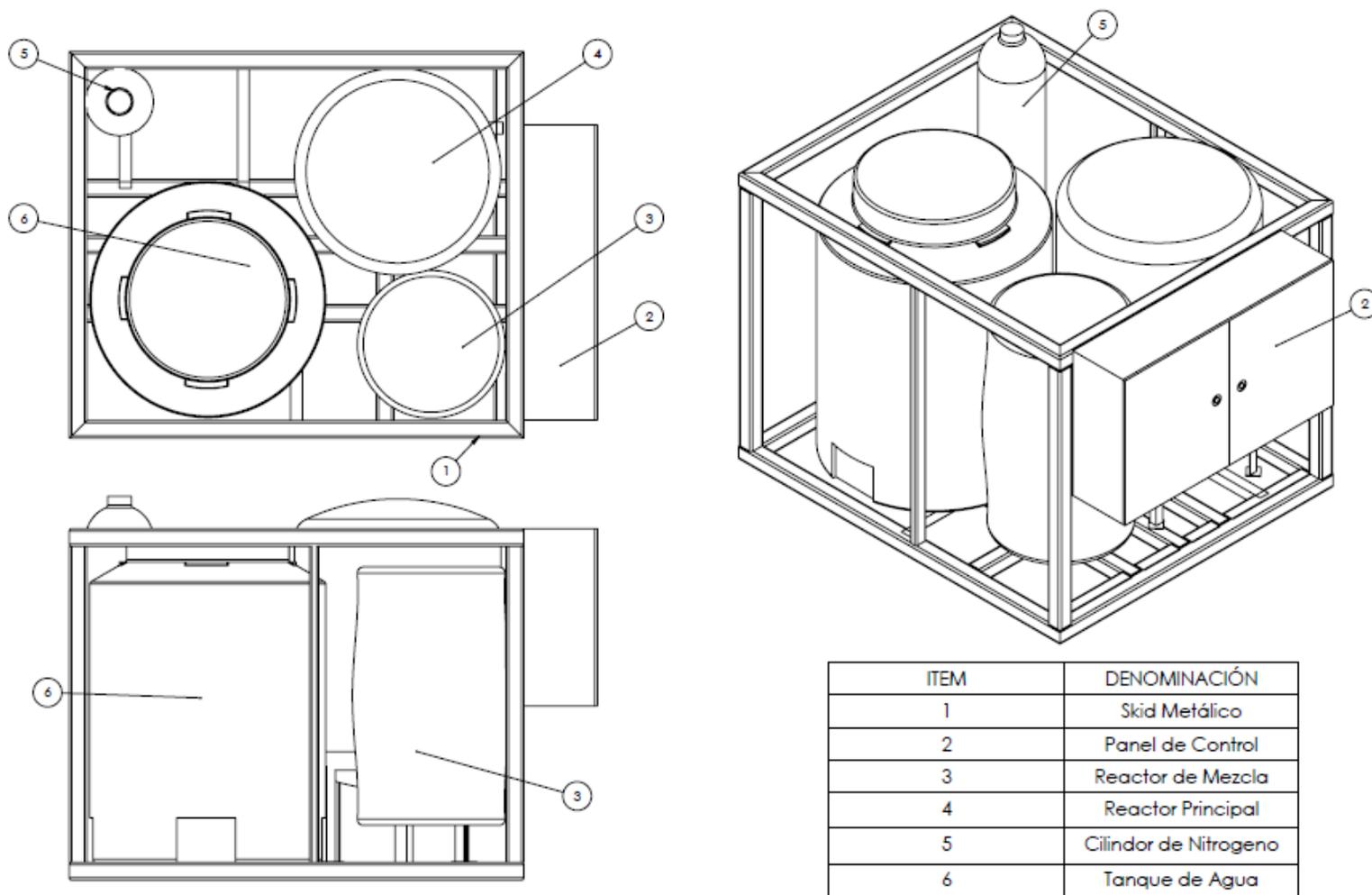
---

17 ISA: International Society of Automation.

**Figura 39:**

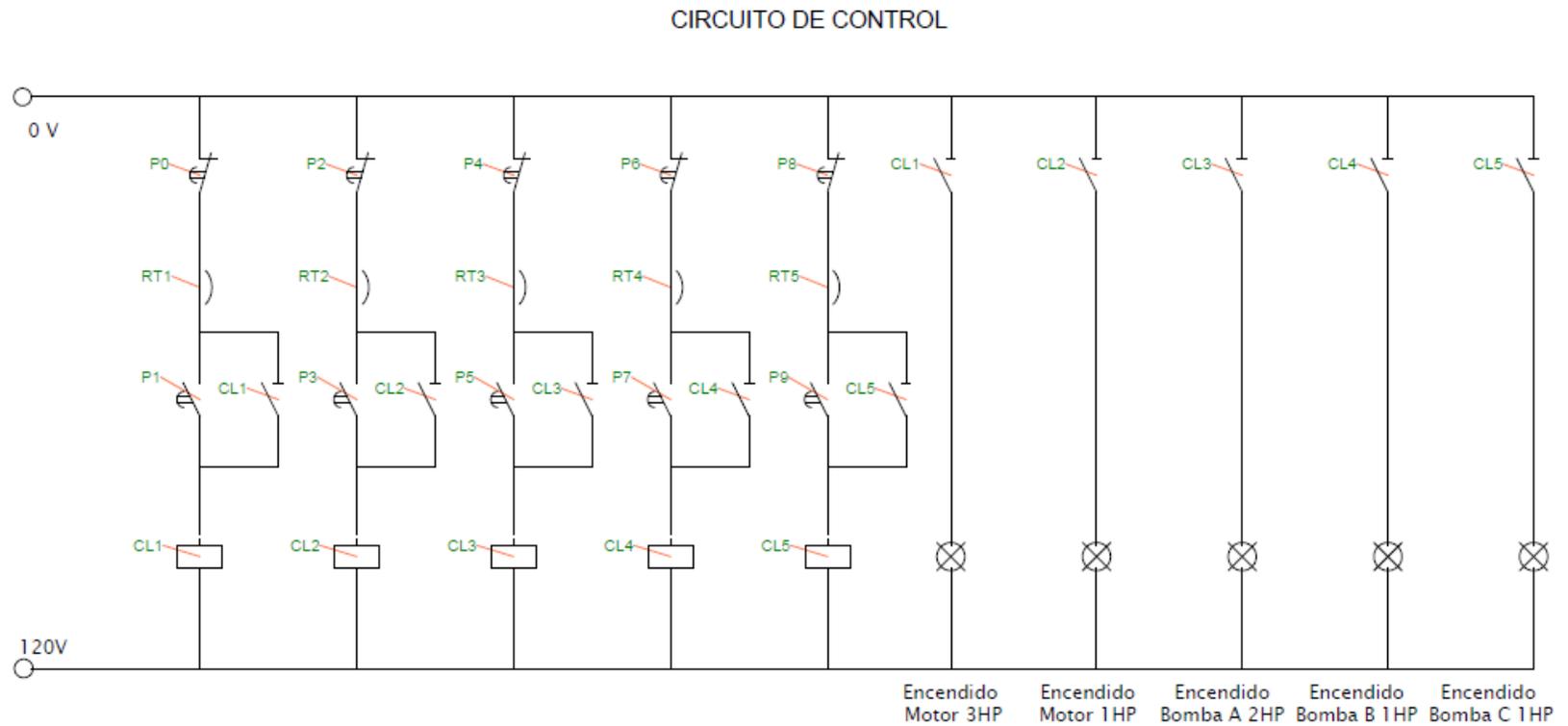
Diagrama P&ID planta de producción de nanopartículas metálicas.



**Figura 40:***Layout de diseño conceptual de la planta.*

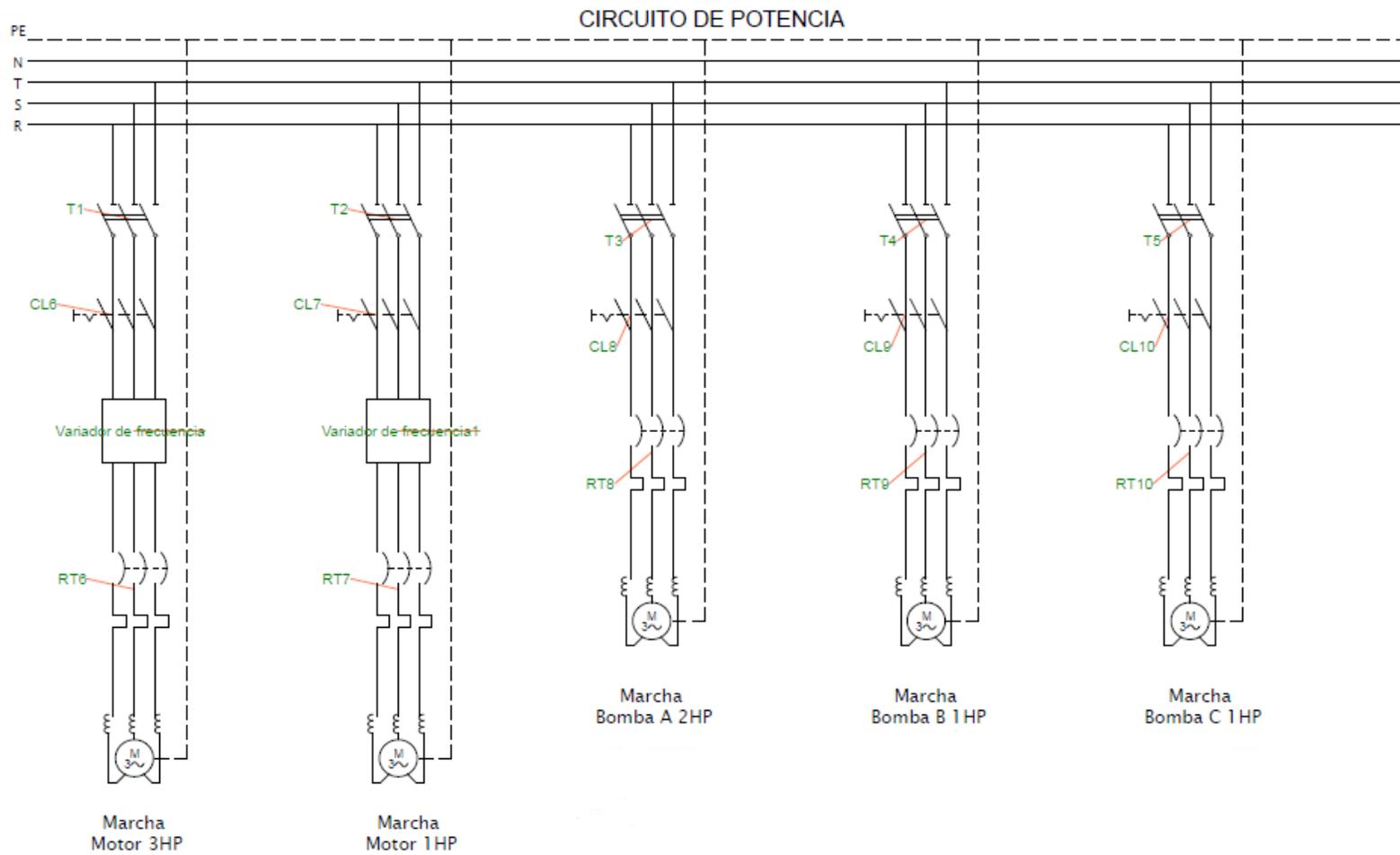
**Figura 41:**

*Diagrama unifilar sistema eléctrico, circuito de control.*



**Figura 42:**

*Diagrama unifilar sistema eléctrico, circuito de potencia.*



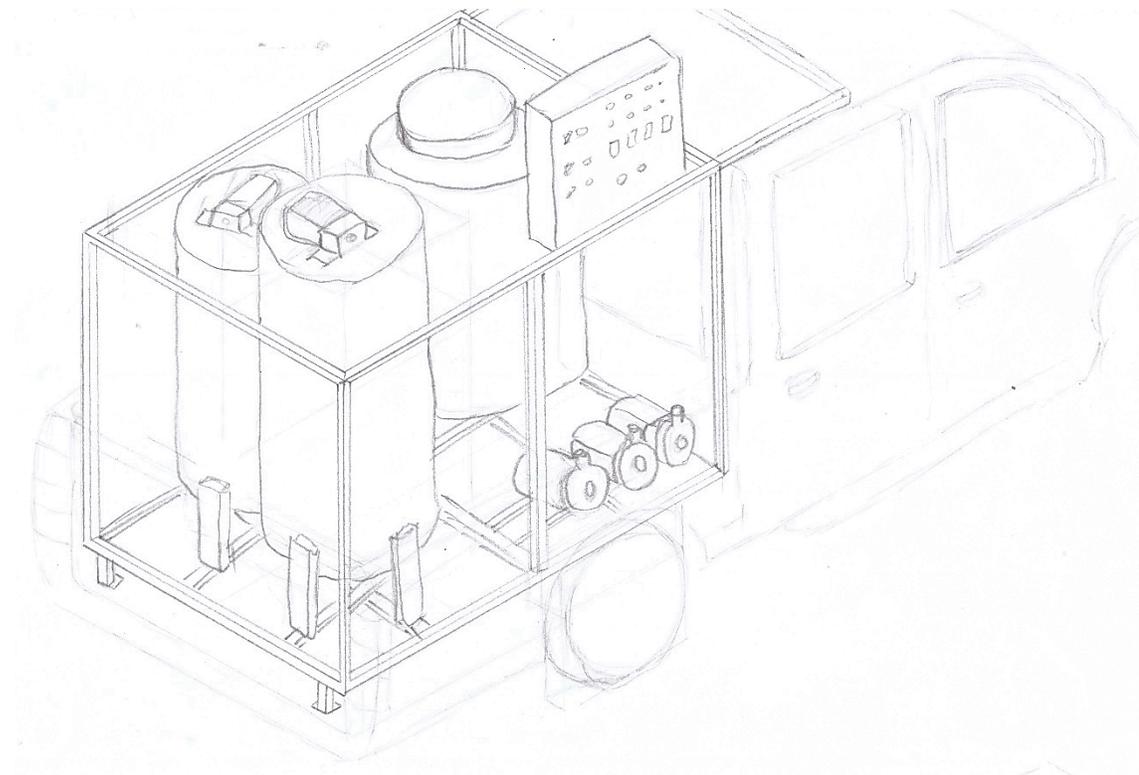
## Capítulo 4

### Diseño y Construcción

El prototipo final necesita de planos y documentos que especifiquen sus características físicas, se ejecutaron simulaciones computacionales para garantizar que las desviaciones con respecto al diseño de (Perugachi, 2020) sean viables. Para ello se realiza un diseño computacional en SolidWorks y se utiliza el software de análisis estructural SAP 2000 para verificar el skid metálico. El boceto del prototipo se muestra en la Figura 43.

#### Figura 43:

*Boceto de prototipo para planta de producción de npmh.*



#### Skid Metálico

El principal equipo a diseñar es el armazón, este protegerá y brindará soporte al resto de equipos, las principales cualidades que se necesita de este equipo es su rigidez a un bajo peso, para ello se establece en la Tabla 19 las principales condiciones en las que trabajará el prototipo.

**Tabla 19:**

*Estados posibles de trabajo del skid metálico.*

	<b>Estado</b>	<b>Componentes críticos activos y pasivos</b>
Ideales y planificados	Transporte	Recipientes llenos 0/3 Bombas y motores apagados Generador apagado
	Descenso por izaje	Recipientes llenos 0/3 Bombas y motores apagados Generador apagado
	Estacionario y activo	Recipientes llenos 3/3 Bombas y/o motores encendidos Generador encendido

*Nota: El estado "Estacionario activo" vendría a ser el más crítico ya que posee una gran cantidad de masa y cargas actuantes.*

### **Cargas**

Las cargas a las que será sometido el skid se especifican en la Tabla 20, a los reactores se les asignarán un peso aproximado simulando la condición: llenos de agua. Al considerar estos pesos se toma el mayor valor posible de tal forma que al realizar el análisis estructural se sobredimensione y agregue un valor de seguridad.

**Tabla 20:**

*Especificación de cargas presentes en skid metálico.*

<b>Tipo de Carga</b>	<b>Equipo relacionado</b>	<b>Carga [kg]</b>	<b>Carga [N]</b>	<b>Condición</b>
Muerta	Tanque de agua vacío	6	58.86	Distribuido en su área
	Tanque de agua lleno	606	5944.86	Distribuido en su área
	Reactor principal vacío	143.25	1405.28	Soportado en 4 puntos
	Reactor principal lleno	543.25	5329.29	Soportado en 4 puntos
	Reactor de mezcla vacío	72.35	709.75	Soportado en 4 puntos
	Reactor de mezcla lleno	272.35	2671.75	Soportado en 4 puntos
	Electrobomba de 2 [HP]	15.7	154.02	Puntual
	Electrobombas de 1 [HP]	9	88.29	Puntual

Tipo de Carga	Equipo relacionado	Carga [kg]	Carga [N]	Condición
Viva	Electrobomba de 2 [HP]	$15.7 \times 1.2 = 18.84$	184.82	Puntual
	Electrobombas de 1 [HP]	$9 \times 1.2 = 10.8$	105.95	Puntual

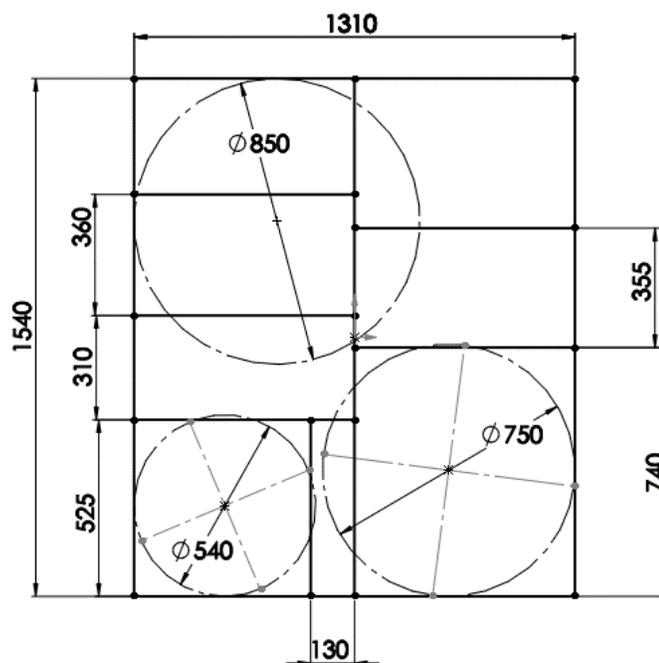
*Nota: A los pesos de los reactores vacíos se suma el peso de su respectivo motor, en el caso de estar llenos, se añade un extra a la capacidad máxima para su operación, en el reactor principal un máximo de 400 litros y el reactor de mezcla un máximo de 200 litros. Esto con el fin de garantizar su correcto funcionamiento en caso de un exceso por parte de los operarios.*

### **Cálculo Estructural**

Se considera al estado más crítico: aquel con mayor carga donde se producirán las mayores reacciones, se construye el siguiente tramado, Figura 44, para soportar a los principales equipos.

#### **Figura 44:**

*Croquis de estructura interna y soporte de recipientes para armado de skid metálico.*



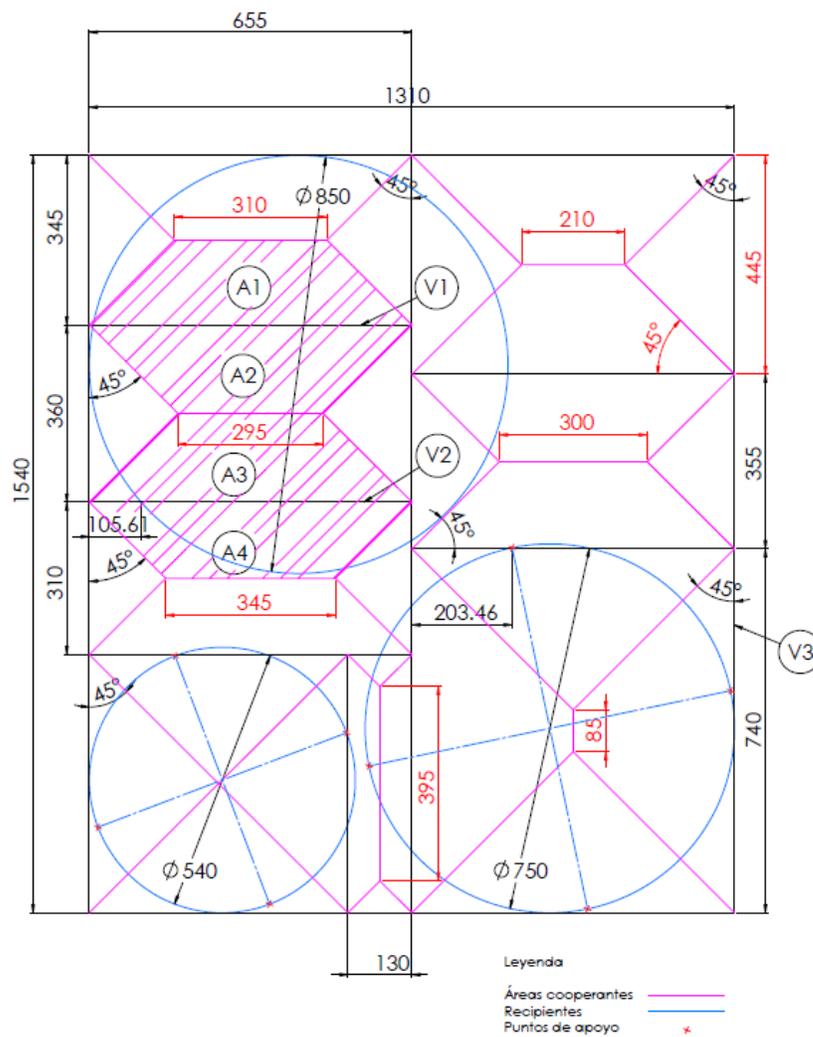
El tanque de agua genera una carga distribuida a lo largo de toda el área de su base, mientras que los reactores, con sus cuatro apoyos, dividen su peso simétricamente entre estos como cargas puntuales. Como se aprecia en la Figura 45 los perfiles (V1 y V2) generan un área cooperante (A#) mayor que el resto de entramados usados para

soportar al tanque, mientras el perfil V3 soporta la carga puntual del reactor más pesado.

La Tabla 21 resume el cálculo realizado.

**Figura 45:**

*Áreas cooperantes para la carga distribuida del tanque de agua.*



$$Carga\ del\ tanque = \frac{masa\ del\ tanque}{\acute{a}rea\ del\ tanque}$$

$$\frac{606\ [Kg]}{\frac{0.85\ [m]^2}{4} * \pi} = 1067.93\ \left[\frac{Kg}{m^2}\right]$$

$$\frac{Carga\ del\ tanque * \acute{A}rea\ cooperante}{Longitud\ de\ viga} = Carga\ linealmente\ distribuida$$

**Tabla 21:**

*Distribución lineal de carga en vigas producida por el tanque de agua*

<b>TIPO</b>	<b>EJE - NUM.</b>	<b>ÁREA [m<sup>2</sup>]</b>	<b>LONGITUD DE VIGA [m]</b>	<b>CARGA [kg/m]</b>	<b>CARGA [N/m]</b>
VIGA	V1	A1 + A2= 0.169	0.655	272.382	2672.063
VIGA	V2	A3 + A4= 0.163	0.655	263.130	2581.302

*Nota: Para el cálculo de momento se selecciona la mayor carga que se localiza en la viga V1.*

Para el cálculo del momento se considera al perfil como una viga con sus extremos fijos y con una carga distribuida, un caso de flexión pura. El cálculo pertinente generará el momento máximo al que estará sometido el perfil estructural. Se establecen las condiciones iniciales en el diagrama de fuerzas de la Figura 46 para la viga (V1) y en la Figura 47 para la viga (V3). Para su cálculo se procedió a usar software libres de cálculo estructural como: (VIGAOnline, 2020) y (SkyCiv, 2020).

**Figura 46:**

Diagrama de fuerzas en el perfil "V1" con dos apoyos fijos y una carga distribuida producto de la masa del tanque de agua lleno.

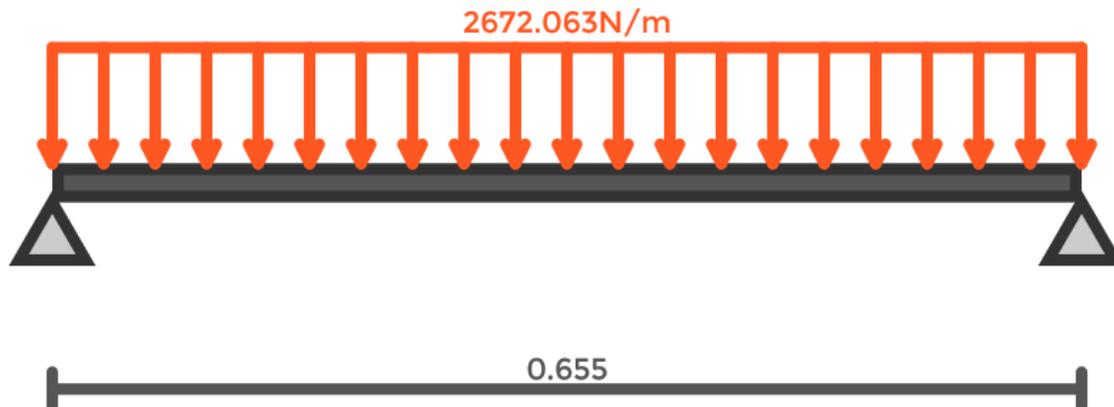
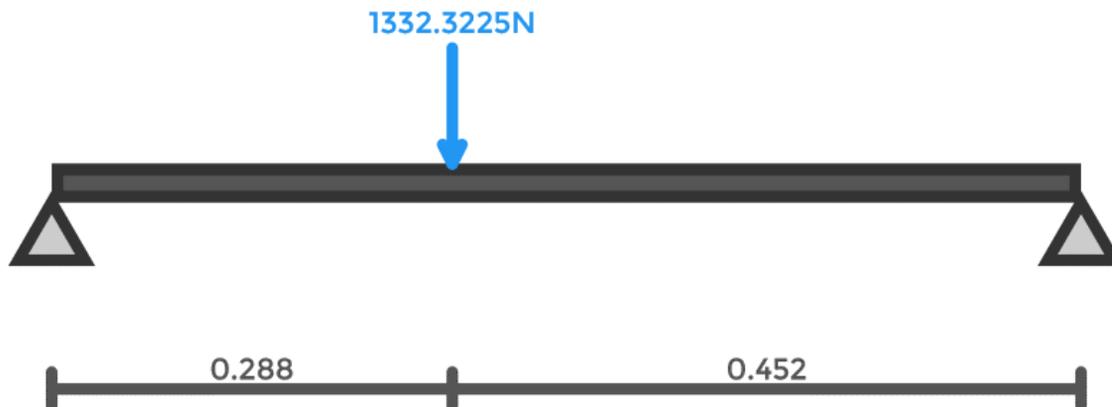
**Figura 47:**

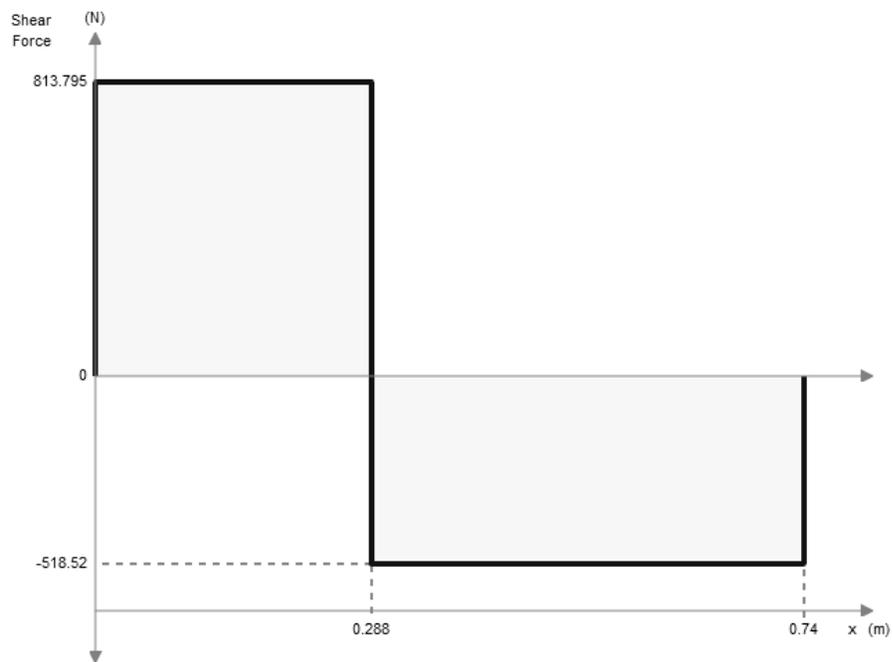
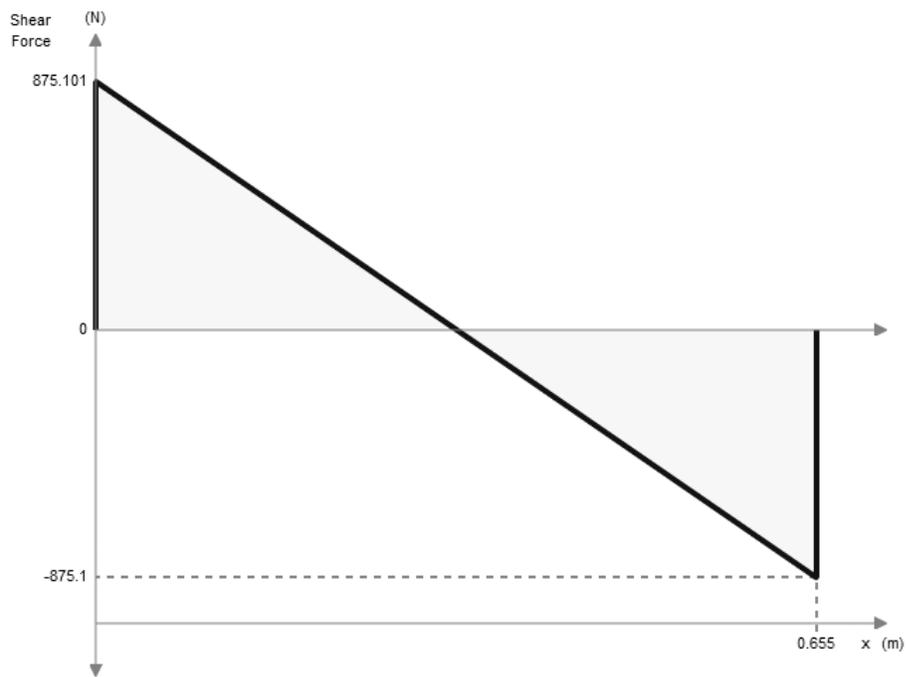
Diagrama de fuerzas en el perfil "V3" con dos apoyos fijos y una carga puntual producto de la reacción de un apoyo del reactor principal.



Los resultados se generan en la Figura 48 y Figura 49 el diagrama de esfuerzos y momento queda de la siguiente manera.

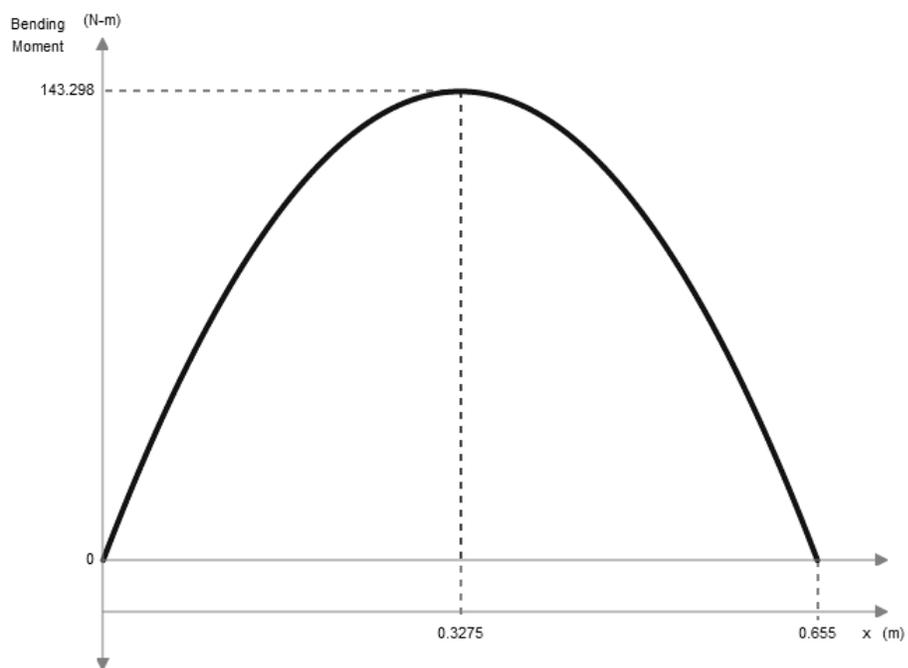
**Figura 48:**

*Esfuerzo cortante producido en viga V1 (arriba) y V3 (abajo).*



**Figura 49:**

*Momento flector producido en viga V1 (arriba) y V3 (debajo).*



Lo que determina un momento máximo de  $M_{max} = 234.373 [Nm]$  el cual se usará para determinar el esfuerzo máximo al que será sometido la V3. Esto proporciona un dato para un primer análisis y acercarse a un perfil adecuado.

### **Perfiles Metálicos y Material**

Con el fin de obtener un perfil adecuado, al igual que su material, se establecen condiciones previas para definir los rangos de búsqueda.

- Resistente al ambiente.
- Perfiles disponibles en el mercado nacional.
- Fácil soldadura.
- Resistente al momento máximo generado.

Para seleccionar el perfil y el material se establece la Tabla 22 que cataloga a los perfiles más óptimos y se definen sus características, se aplica la ecuación de flexión pura para obtener el esfuerzo máximo que soporta el perfil.

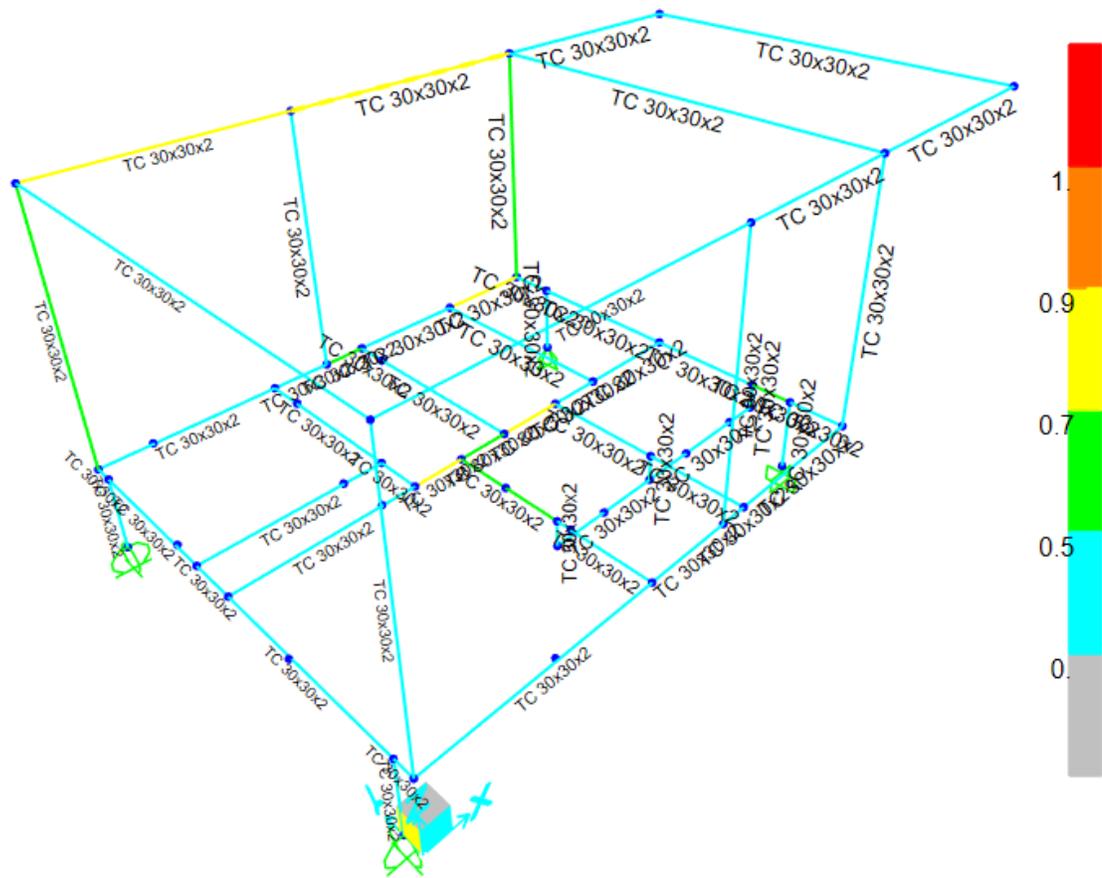
$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * c}{I}$$

**Tabla 22:**

*Esfuerzos máximos permisibles de perfiles estructurales.*

<b>Perfil</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>I= Inercia [cm<sup>4</sup>]</b>	<b>c= Radio de giro [cm]</b>	<b><math>\sigma_{max}</math>= Esfuerzo máximo [MPa]</b>
Cuadrado	TC 30x30x2	2.73	1.13	97.01
	TC 40x40x2	6.95	1.54	51.93
	TC 40x40x3	9.36	1.49	37.31
	TC 50x50x3	19.5	1.9	22.84
	TC 50x50x4	23.84	1.85	18.19
Angular	40x40x3	3.5	1.25	83.70
	50x50x4	9.04	1.56	40.44
Laminar C	C 50x25x3	9.7	1.89	45.67
	C 80x40x3	55.41	3.07	12.99





La simulación escoge por sobre los demás al perfil de acero (TC 30x30x2) el más pequeño dimensionalmente, esto debido a que este perfil puede soportar los momentos máximos que se generen en la estructura optimizando el uso de material y peso usado en la estructura, confirmando el procedimiento anterior para la aproximación a un perfil.

Este perfil presenta una dificultad al momento de su unión a través de soldadura se necesita de una mayor habilidad, para lo cual se opta por un perfil con un mayor espesor (TC 40x40x3).

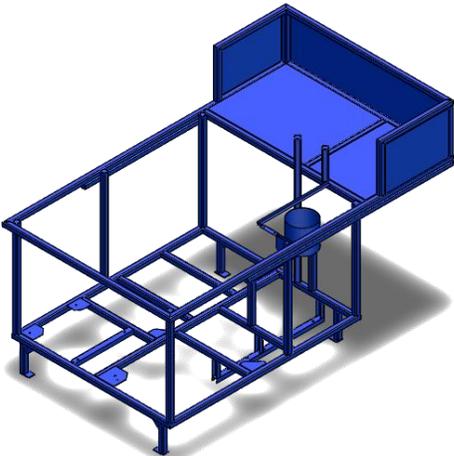
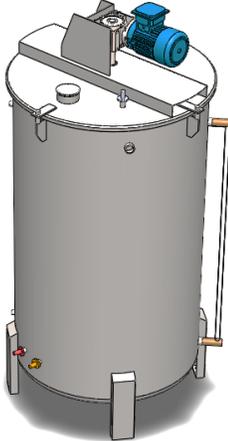
## Diseño CAD

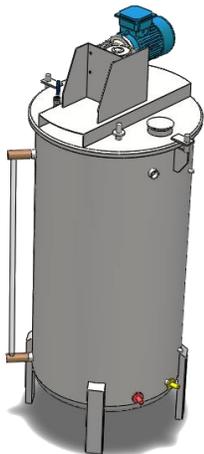
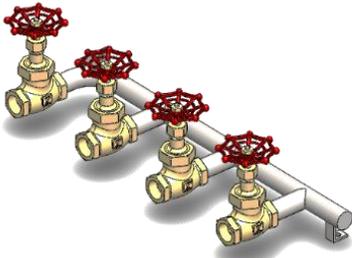
Una vez probado el funcionamiento estructural del skid se procede a genera un diseño computacional completo del prototipo. Este proceso permite definir las dimensiones finales de cada componente del sistema, esto se realiza mediante el programa SolidWorks. En la Tabla 23 se resumen las características más importantes de los modelos desarrollados, los planos de diseño básico se exponen en el anexo 4. Y la

Figura 51 muestra el conjunto CAD elaborado.

**Tabla 23:**

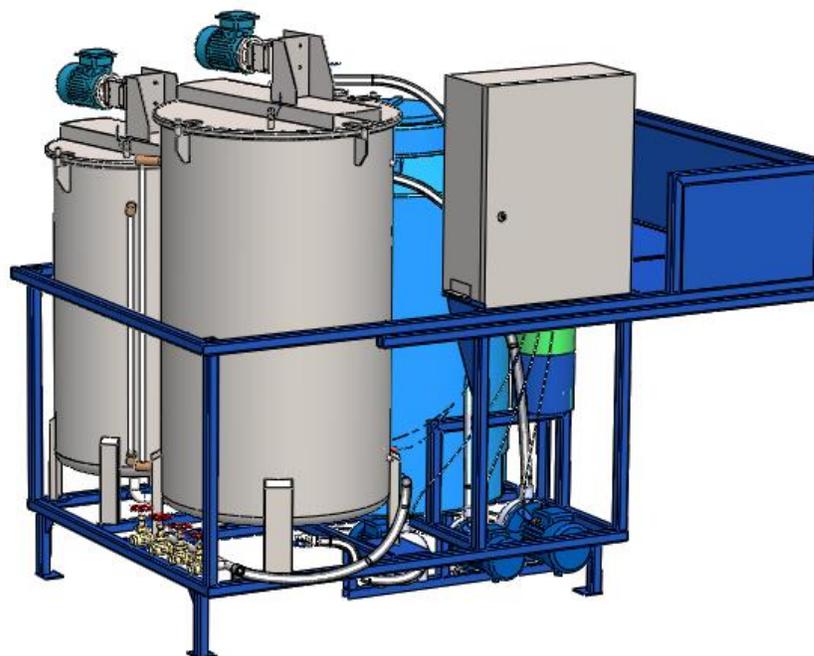
*Características principales de los modelos computacionales generados*

Equipo	Modelo computacional	Características principales
Skid metálico		<p><b>-Material:</b> Acero Galvanizado A36 G36</p> <p><b>-Perfil:</b> Tubo estructural cuadrado 40x40x3</p> <p><b>-Peso:</b> 156.568 [Kg]</p> <p><b>-Soldadura:</b> SMAW</p> <p><b>-Tratamiento:</b> Pintura</p>
Reactor principal		<p><b>Material:</b> Acero A304</p> <p><b>Peso:</b> 159.14 [Kg]</p> <p><b>Soldadura:</b> GTAW</p> <p><b>Tratamientos:</b> Pasivado</p>

Equipo	Modelo computacional	Características principales
Reactor de mezcla		<b>Material:</b> Acero A304 <hr/> <b>Peso:</b> 95.48 [Kg] <hr/> <b>Soldadura:</b> GTAW <hr/> <b>Tratamientos:</b> Pasivado
Manifold		<b>Material:</b> Acero A304 <hr/> <b>Tubería:</b> 1 in

**Figura 51:**

*Diseño CAD de planta de producción de nph.*



## Verificación de Cálculos

Obteniendo las características físicas de los equipos principales, a través del sólido CAD, se procede a realizar una simulación más aproximada con el nuevo perfil obtenido (TC 40x40x3), en esta simulación se obtendrán las derivas elásticas propias de la planta en las tres condiciones propuestas en la Tabla 19, para el estado de “transporte” se elabora la Tabla 24, donde se especifican las cargas actuantes debido al movimiento de la estructura en el momento de su movilización.

**Tabla 24:**

*Cargas por movimiento en estado de transporte.*

Tipo de Carga	Equipo relacionado	Carga [kg]	Carga [N]	Condición
Movimiento	Planta de producción de nanopartículas	450.9	4423.21	Estática
		$450.9 \cdot 0.8 = 360.71$	3538.57	Frenado
		$450.9 \cdot 0.5 = 225.44$	2211.61	Aceleración frontal
		$450.9 \cdot 0.5 = 225.44$	2211.61	Aceleraciones en curvas

*Nota: Para la simulación se usará la carga más alta, que es la condición de frenado.*

## Deflexiones Permisibles

En la Tabla 25 se enlista las condiciones y resultados obtenidos del análisis en los tres estados sugeridos al inicio del capítulo, con ello se realiza un análisis de deflexiones bajo el criterio AISC *Design Guide* para asegurar la capacidad de servicio en el diseño propuesto.

Para las deflexiones en el eje Z, a lo largo del perfil debido a la acción del peso o gravedad, se toma la siguiente relación.

$$\Delta v_{max} = \frac{L}{240}$$

Para los desplazamientos longitudinales, en el eje X e Y, se utilizará el siguiente criterio para su valoración de servicio, tomado de la norma NEC 15.

$$\Delta m * ALTURA = 0,75 * R * \Delta E$$

$$\Delta E_{max} = \frac{\Delta m * ALTURA}{0,75 * R}$$

Donde:

- $\Delta m = 0.02$
- $R = 8$
- Altura del skid metálico: 1056 [mm]

$$\Delta E_{max} = \frac{0.02 * 1056 [mm]}{0,75 * 8} = 3.52 [mm]$$



Estado		Transporte	Descenso por izaje	Estacionario activo		
<b>Característica</b>						
Deflexión máxima en eje Z [mm]		-2.15	-1.74	-5.25		
Longitud de perfil metálico [mm]		1505	1310	1505		
Deflexión máxima $\Delta v_{max}$ [mm]		$\pm 6.27$	$\pm 5.45$	$\pm 6.27$		
Deflexión máxima en eje Y [mm]		$-0.66 < \pm 3.52$	$0.49 < \pm 3.52$	$-1.64 < \pm 3.52$		
Deflexión máxima en eje X [mm]		$-0.67 < \pm 3.52$	$0.68 < \pm 3.52$	$-1.54 < \pm 3.52$		
Periodos de vibración	Modo	1: T=0.0639 f=15.635	Modo	1: T=0.0686 f=14.589	Modo	1: T=0.0647 f=15.452
	Modo	2: T=0.0491 f=20.372	Modo	2: T=0.0628 f=15.925	Modo	2: T=0.05 f=20.011

*Nota: Los resultados obtenidos cumplen con las normas de construcción y satisfacen a toda la estructura en todos los estados planeados.*

## Construcción y Equipamiento

Para finalizar se entregaron los planos de diseño y especificaciones al contratista: Tngo. Alexis Sánchez que se encargó de la planificación de la construcción y derivó el proyecto a la constructora INFANE que lleva años de experiencia en la elaboración de tanques y recipientes a presión,

Figura 52. Los equipos comerciales fueron adquiridos mediante intermediarios del medio comercial.

### Supervisión de Construcción

En el transcurso de la construcción se realizaron varias visitas para guiar y corroborar el progreso del mismo. En la Tabla 26 se establece el cronograma realizado de visitas con sustentación fotográfica de los avances.

**Tabla 26:**

*Fechas de inspecciones realizadas al proceso de construcción y fotografías.*

Fecha	Inspección	Fotografías
18 de Marzo	Dimensiones establecidas para los reactores	
	Verificación de la compra del tanque de agua de 600L	

Fecha	Inspección	Fotografías
12 de Mayo	Implementación de los motores	
12 de Mayo	Colocación de electrobombas hidráulicas	
12 de Mayo	Dimensiones de skid metálico	
14 de Mayo	Componentes en tablero de control	
14 de Mayo	Adquisición de los electrodos electroquímicos	
28 de Mayo	Pintado del skid metálico	

Fecha	Inspección	Fotografías
	Adquisición del generador eléctrico	
	Implementación de las bridas para entradas y salidas en reactores	
	Colocación del filtro de agua	
5 de Junio	Dimensiones de agitadores de mezcla	

Fecha	Inspección	Fotografías
	Dimensiones de manifold	

**Figura 52:**

*Equipo de trabajo involucrado en el proyecto.*



### Condiciones de Trabajo

Las condiciones y especificaciones finales de trabajo para la planta de producción diseñada se resumen en la Tabla 27.

**Tabla 27:**

*Especificaciones técnicas de la planta de producción.*

<b>Equipo</b>	<b>Especificación</b>	
Planta de producción de nanopartículas	Personal necesario	2 Operarios
	Volumen	Ancho: 1.4 [m]
		Largo: 2.35 [m]
		Alto: 2 [m]
	Peso neto	510 [Kg]
	Presión máxima de operación	120 [KPa]
	Temperatura de operación	25 [C]
	Operación manual	Derivación de líquidos
Operación mecánica	Encendido de equipos rotativos	
Reactor principal	Capacidad volumétrica mínima	100 [L]
	Capacidad volumétrica máxima	400 [L]
Reactor de mezcla	Capacidad volumétrica mínima	50 [L]
	Capacidad volumétrica máxima	180 [L]
	Pérdida de volumen en succión	30 [L]
Manifold	Caudal máximo de salida	12 [L/min]

*Nota: La pérdida que se genera en el reactor de mezcla es debido a la diferencia de alturas entre la entrada de líquidos del reactor principal y la salida del reactor de mezcla, al vaciar el reactor parte del líquido queda suspendido en la línea de suministro y la bomba B.*

## Capítulo 5

### Pruebas de operación

Para asegurar que el producto final cumpla con las necesidades establecidas en el capítulo 3, se realiza un aseguramiento de la calidad en los procesos de construcción y equipamiento. Para ello se establece un proceso de comisión que definirá las características principales a ensayar en la planta de nanopartículas y se corroborará con pruebas físicas basadas en el diseño elaborado. Para este proceso se ha generado el manual de usuario, Figura 53, que permitirá facilitar el manejo de la planta por los nuevos operadores.

#### Figura 53:

*Portada de manual de usuario.*



*Nota: El manual de usuario se adjunta en el dossier del equipo.*

#### Protocolo de pruebas

En la Tabla 28 se establecen los parámetros a evaluar, esto con el propósito de generar las pruebas necesarias que justifiquen el diseño realizado, para ello se realiza un procedimiento de control por medio del precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha de la planta.

**Tabla 28:**

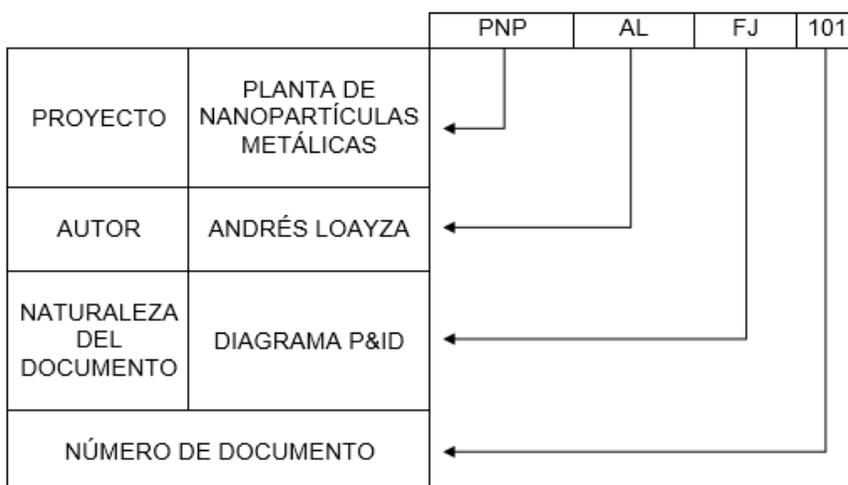
*Características a inspeccionar de acuerdo al procedimiento de control de calidad a realizar*

Procedimiento	Características / Parámetro
Precomisionamiento	Existencia
	Ubicación
	Dimensiones
	Material
Comisionamiento	Estado de líneas de suministros
	Conexiones eléctricas
	Movimiento de equipos rotativos
	Respuesta de sensores
	Funcionamiento de componentes vinculados
Puesta en marcha	Funcionamiento bajo condiciones de diseño

Se establece una codificación en planos que permita realizar un control más preciso y que facilite el ordenamiento de los documentos que se generen una vez terminado el aseguramiento de la calidad. La Figura 54 define el formato para clasificar los múltiples planos existentes. Los dos primeros criterios son constantes mientras que el tercer y cuarto criterio de clasificación se basa en una codificación estandarizada. (Aucancela & Saquicuya, 2013)

**Figura 54:**

*Codificación usada para los planos realizados.*



En la Tabla 29 se resumen los planos que constan en el capítulo 3 y en el anexo 2.

**Tabla 29:**

*Especificación de planos codificados.*

<b>Tipo de plano</b>	<b>Código</b>	<b>Total de planos</b>
P&ID	PNP-AL-FJ-001	1
Diagrama unifilar	PNP-AL-DU-001	1
Planos de diseño básico	PNP-AL-PB-001	27
Total de planos		29

*Nota: El conjunto total de planos se encuentran en el Anexo 2.*

### **Precomisionamiento**

Para este procedimiento y basándose en las características a verificar, se realizan tres tipos de pruebas, las cuales se resumen en la Tabla 30.

- Prueba check: Consiste en una prueba de existencia de acuerdo a la visualización y corroboración mediante los planos de referencia.
- Prueba estática: pruebas en frío, con la planta des energizada, de componentes específicos.
- Prueba aceptación de fábrica: documentación que aseguren la calidad de un equipo comercial adquirido.

**Tabla 30:**

*Cantidad de pruebas de precomisionamiento realizadas.*

<b>Prueba</b>	<b>Cantidad</b>
Prueba check	2
Prueba estática	5
Prueba aceptación de fábrica	1
Total de precomisiones	8

Debido a la cantidad de documentos realizados, al igual que los planos, se realiza una codificación, Figura 55 para llevar un correcto orden y presentación. La Figura 56 muestra el formato para las pruebas.



### **Comisionamiento**

En este paso de verificación se implementan pruebas mientras el equipo está energizado, para ello se realizan procedimientos para la elaboración de cada etapa de producción explicados en la Figura 29. El procedimiento establecido para estas pruebas requiere que el equipo se mantenga encendido desde el primer paso (P01.1.) a través de su generador y las pruebas se realizarán de manera consecutiva. Se utilizará agua como líquido de prueba.

#### **Prueba 1.- Solución reductor.**

Objetivo: Realizar el procedimiento operacional de la etapa de producción de la solución “Reductor”.

##### Procedimiento:

- P01.1. Energizar el equipo.
- P01.2. Transferir agua hacia el reactor de mezcla.
- P01.3. Comprobar el nivel del líquido a través del nivel bypass.
- P01.4. Revisar el valor de pH y ORP.
- P01.5. Encender el motor del reactor de mezcla.
- P01.6. Variar la velocidad del motor.
- P01.7. Apagar el motor.

#### **Prueba 2.- Solución sales de hierro.**

Objetivo: Realizar el procedimiento operacional de la etapa de producción de la solución “Sales de hierro”.

##### Procedimiento:

- P02.1. Transferir agua hacia el reactor principal.
- P02.2. Comprobar el nivel del líquido a través del nivel bypass.
- P02.3. Revisar el valor de pH y ORP.

P02.4. Encender el motor del reactor principal.

P02.5. Variar la velocidad del motor.

### **Prueba 3.- Solución nanopartículas metálicas.**

Objetivo: Realizar el procedimiento operacional de la etapa de producción de la solución “Nanopartículas metálicas”.

#### Procedimiento:

P03.1. Transferir el agua del reactor de mezcla hacia el reactor principal.

P03.2. Cambiar la dirección de giro del motor del reactor principal.

P03.3. Apagar el motor.

P03.4. Transferir el agua del reactor principal hacia el manifold.

P03.5. Desenergizar la planta.

Las pruebas de comisionamiento se codifican de la misma forma que en el precomisionamiento, y se utiliza el mismo formato de la Figura 56, mientras que en la Tabla 31 se especifica la codificación usada para estas pruebas.

#### **Tabla 31:**

*Referencias de pruebas de comisionamiento realizadas.*

<b>Prueba</b>	<b>Documento</b>
Solución reductor	PNP-AL-CO-P01
Solución sales de hierro	PNP-AL-CO-P02
Solución nanopartículas metálicas	PNP-AL-CO-P03

*Los resultados a las pruebas de comisionamiento se detallan en la Tabla 32. Y se documentan en el anexo 3.*

#### ***Puesta en Marcha***

Para probar el equipo bajo las condiciones de diseño, se realiza una prueba de producción, con el objetivo de obtener nanopartículas metálicas en un procedimiento supervisado por las entidades a cargo del proyecto y donde se involucrará al personal que

posterior a la entrega, tendrá control total del equipo. Para ello se realiza el formato de la Figura 57.

**Figura 57:**

*Formato para prueba puesta en marcha.*

	REGISTRO	
	TIPO DE PRUEBA	
PROYECTO:		CÓDIGO:
<b>1. IDENTIFICACIÓN</b>		
Se especifican detalles del equipo a inspeccionar y las condiciones en las que se lo debe realizar.		
<b>2. ENTREGABLES</b>		
Se realiza la entrega del equipo y material necesario para su operación al personal de CENCINAT		
<b>3. PROCEDIMIENTO Y OPERACIÓN</b>		
Desarrollo del proceso de producción a cargo del diseñador y fabricante mediante el uso del prototipo	Vinculación a actividades por parte del personal de CENCINAT para completar el proceso de producción	
<b>4. OBSERVACIONES</b>		
Si se diera el caso de especificar algún evento o detalle al momento de realizar la prueba.		
<b>5. ESTADO FINAL</b>		
Firman las partes involucradas en el proceso de revisión.		

**Ejecución de Pruebas**

Las pruebas se realizaron en dos jornadas, la primera se realizó el día 22 de Junio del 2020 en el taller INFANE en Aloasí, Machachi; se realizaron las pruebas de precomisionamiento y comisionamiento en presencia del contratista del proyecto Alexis Sanchez y el Ing. Carlos Naranjo tutor del proyecto. El proceso se evidencia en la Tabla 32.

Tabla 32:

Fotografías del proceso realizado para verificar las especificaciones utilizando el precomisionamiento y comisionamiento planificado.

Procedimiento	Fotografía	Explicación
Precomisionamiento		Verificación de componentes eléctrico en panel de control.
		Revisión de equipos contruidos bajo especificaciones
		Se registraron pequeñas zonas de corrosión en los reactores, necesitan corrección
		Revisión de documentos anexos a equipos comerciales adquiridos.
		Identificación de válvulas y líneas de suministros
Comisionamiento		Llenado del reactor principal con 300 litros de agua y 150 litros para el reactor de mezcla.

Procedimiento	Fotografía	Explicación
		Verificación de la alineación de los agitadores en los reactores
		Medición de revoluciones en agitadores
		Funcionamiento de sensores electroquímicos en panel de control
		Levantamiento y posicionamiento de la planta en el vehículo de transporte

*En las pruebas realizadas se evidenciaron errores mínimos que pueden solventarse antes de realizar su entrega, los cuales se detallaron en los formatos de evaluación y se levantó un nuevo documento para tener constancia de los mismos. La prueba de verificación PNP-AL-PC-P01 se detalla en la Tabla 34.*

La segunda jornada de pruebas que se realizó los días 24 y 27 de Julio, 5 y 12 de agosto de 2020 en la Universidad de las Fuerzas Armadas, en el hangar del CICTE<sup>18</sup> en presencia del director de CENCINAT, Ing. Luis Cumbal PhD. y el personal que realizará la operación del equipo posterior a la entrega, se realizó el procedimiento de puesta en

---

<sup>18</sup> CICTE: Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército.

marcha. Se realizaron pruebas para la obtención de npmh. En la Tabla 33 se evidencia el proceso realizado.

**Tabla 33:**

*Procedimiento desarrollado para la prueba de puesta en marcha.*

Procedimiento	Fotografía	Explicación
		Operación de bombas y motores por parte del personal del laboratorio de CENCINAT
		Ingreso de químicos al reactor de mezcla
Puesta en marcha		Derivación manual de líquidos a través de la manipulación de las válvulas de $\frac{1}{4}$ de giro.
		Lectura de volumen en reactores por medio del nivel bypass
		Lectura de sensor OD para comparación con sensor ORP

Procedimiento	Fotografía	Explicación
		Obtención de npmh a través del final de la conexión del manifold

Para finalizar en la Tabla 34 se resumen los resultados y observaciones destacadas de las pruebas realizadas.

**Tabla 34:**

*Resultados de las pruebas realizadas al prototipo.*

Proceso	Prueba	Resultados	Observaciones
Precomisionamiento	PNP-AL-PR-PC	Todos los equipos e instrumentos previstos en el desarrollo del diseño se encuentran correctamente posicionados y son los adecuados.	
	PNP-AL-PR-PE	Los equipos adquiridos cumplen con las características necesarias y los equipos construidos cumplen con las necesidades especificadas en los planos de diseño.	Los reactores tienen puntos de corrosión, necesitan correcciones de tratamiento superficial (pasivado).
	PNP-AL-PR-PA	Se recibió la documentación pertinente de los equipos comerciales adquiridos.	Se añaden dichos documentos al dossier del equipo.
Comisionamiento	PNP-AL-CO-P0	Los equipos vinculados y las líneas de suministro presentan un correcto funcionamiento.	El eje del agitador en el reactor de mezcla presenta una desviación produciendo un ruido y balanceo en el motor.

Proceso	Prueba	Resultados	Observaciones
Correcciones	PNP-AL-PC-P01	Se rectificaron los errores presentes en el precomisionamiento y comisionamiento,	
Puesta en marcha	PNP-AL-PM-P01	Se obtuvo muestras para la verificación del tamaño de nano partículas.	Se detallan en el Anexo 4

Después de las pruebas realizadas se procedió con la entrega del equipo y finalización de las actividades con el mismo, quedando el anexo 5 como prueba del cumplimiento de requisitos y satisfacción del trabajo realizado para CENCINAT.

#### ***Producción de lote de nanopartículas***

Se prosiguió trabajando con el personal dentro de las instalaciones del CICTE para mejorar el proceso de producción mediante el uso y acondicionamiento con la planta Figura 58, en las pruebas realizadas se generaron lotes de 150 litros de nanopartículas a partir del uso de agua potable, con el fin de optimizar el proceso descrito en la Figura 29 a cargo de los profesionales del laboratorio, de ellas se obtuvo muestras que serían analizadas para definir sus características.

**Figura 58:**

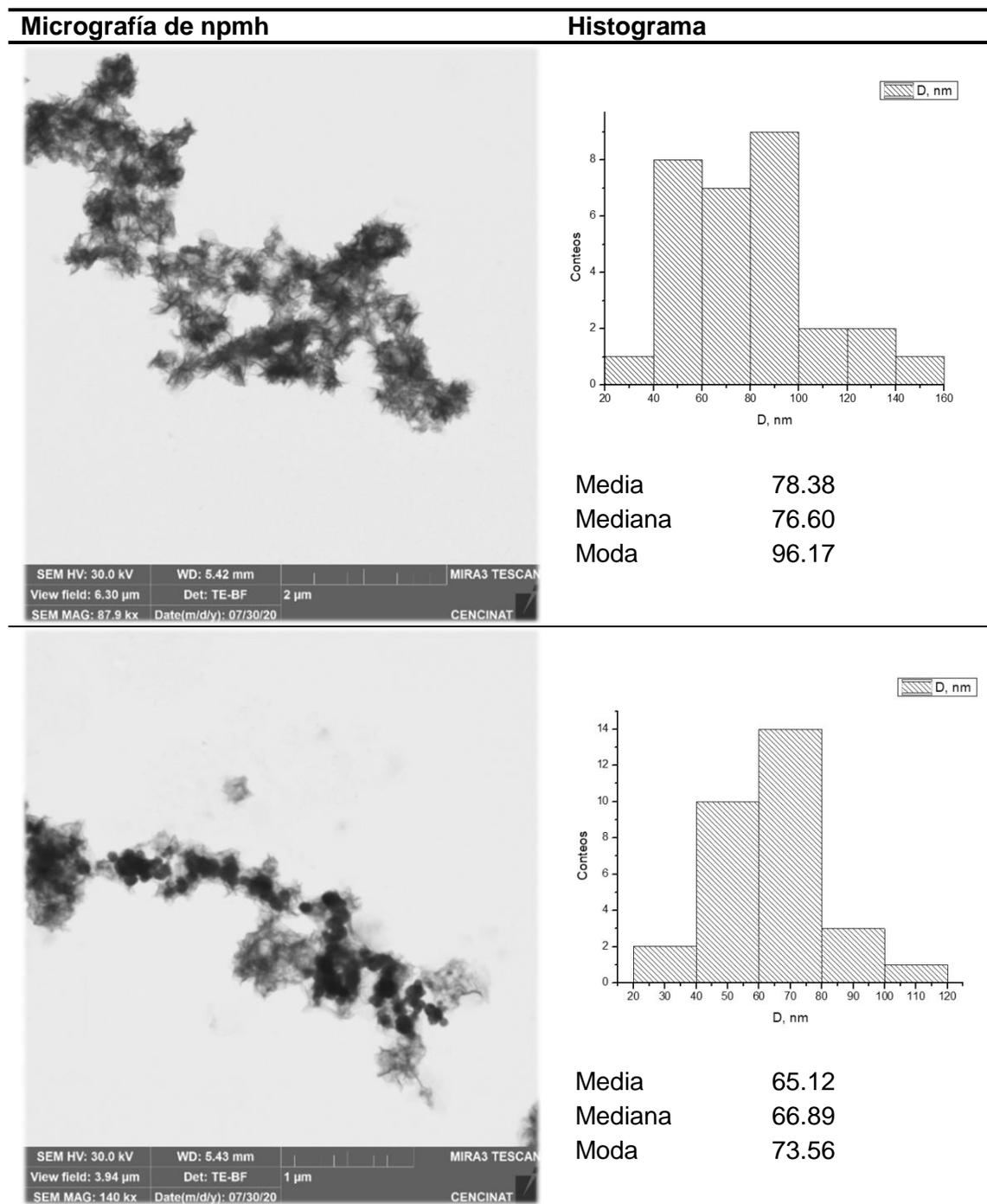
*Producción de lotes de npmh, a cargo del equipo del laboratorio de CENCINAT.*



Para obtener el tamaño promedio de las partículas producidas en el proceso de puesta en marcha, se realizaron pruebas de medición de tamaño de grano en base a dos procedimientos, se utilizó el método STEM, realizado por medio del Laboratorio de Caracterización de Materiales, del cual se obtuvo micrografías que se encuentran en el anexo 4 y el método DLC que fue realizado por el Departamento CENCINAT ambos laboratorios propios de la universidad ESPE y que permitió medir el tamaño de las nanopartículas.

En las condiciones en que se desarrolló este proyecto se dificultó el acceso a la disponibilidad entre el personal de laboratorios y el personal de CENCINAT para la elaboración de varias pruebas y sobre todo realizarlas en el momento inmediato posterior a la fabricación del lote de npmh, en la Tabla 35 se muestran las micrografías obtenidas de las muestras tomadas en las pruebas el día 27 de Julio en la que se observa un tamaño promedio de  $(78.38 - 65.12)$  [nm], este tamaño menor a 100 [nm] cumple con la característica para considerar a las partículas nanométricas.

**Tabla 35:**  
*Datos obtenidos en micrografías de pruebas con DLC.*



Las micrografías de la izquierda son tomadas el día 31 de julio del 2020 de ellas se realiza el conteo de partículas presentes y se mide su tamaño promedio, presentado en el histograma de la derecha. Los datos completos se encuentran en el Anexo 4.

## Capítulo 6

### Presupuesto

El costo del equipo como prototipo alcanzó un total de treinta y cuatro mil cuatrocientos cincuenta y siete (\$34,457.95), en la Tabla 36 se especifica los costos de los equipos, servicios y mano de obra utilizada en el proyecto.

**Tabla 36:**

*Presupuesto final*

	TAREA	MATERIALES		PRESUPUESTO	
		UNID	\$/UNID		
<b>Equipos comerciales comprados</b>	<b>Sistema Mecánico</b>				
		Motor Eléctrico [2Hp] (unidades)	1	\$427.00	\$427.00
		Motor Eléctrico [1Hp] (unidades)	1	\$145.00	\$145.00
		Moto reductores (unidades)	2	\$500.00	\$1,000.00
		Sello mecánico	1	\$45.00	\$45.00
		<b>Total de equipos mecánicos comerciales comprados:</b>			<b>\$1,617.00</b>
	<b>Sistema Hidráulico</b>				
		Tanque de Agua 600L (unidades)	1	\$140.00	\$140.00
		Electrobomba Pedrollo Al RED 135m (unidades)	2	\$223.80	\$447.60
		Electrobomba Pedrollo Al REDm 660H-4 (unidades)	1	\$398.48	\$398.48
		Válvulas (unidades)	2	\$400.00	\$800.00
		Conexiones: desacople fácil (unidades)	12	\$4.00	\$48.00
		Manguera flexible (metros)	18	\$15.00	\$270.00
		<b>Total de equipos hidráulicos comerciales comprados:</b>			<b>\$2,104.08</b>
	<b>Sistema Eléctrico</b>				
		Generador Eléctrico (unidades)	1	\$800.00	\$800.00
		Caja de control (unidades)	1	\$25.00	\$25.00
		Relés térmicos (unidades)	3	\$13.00	\$39.00

	Cable eléctrico (m)	2	\$26.00	\$52.00
	Sensor pH Hanna Inst. (unidades)	2	\$415.88	\$831.76
	Sensor ORP Hanna Inst. (unidades)	2	\$434.06	\$868.12
	Sensor de nivel (unidades)	2	\$60.00	\$120.00
	Botones, selectores y Luces piloto (unidad)	25	\$2.25	\$56.25
	Variador de frecuencia (unidades)	2	\$500.00	\$1,000.00
	<b>Total de equipos hidráulicos comerciales comprados:</b>			<b>\$3,792.13</b>
<b>TOTAL DE EQUIPOS COMERCIALES COMPRADOS:</b>			<b>\$7,513.21</b>	
<b>Construcción</b>	<b>EMPRESA INFINE</b>			
	Reactor principal	1	\$17,761.16	\$17,761.16
	Reactor de mezcla	1		
	Estructura Metálica	1	\$8,880.58	\$8,880.58
<b>TOTAL DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE</b>			<b>\$26,641.74</b>	
<b>Extras</b>	<b>Complementos de equipos y servicios</b>			
	Carpa para protección (unidades)	1	\$200.00	\$200.00
	Reactivos de calibración (unidades)	1	\$86.00	\$86.00
	Juego de herramientas			\$12.00
	Rotulación del equipo			\$5.00
<b>Total de equipos y servicios usados</b>			<b>\$303.00</b>	
<b>TOTAL DE EXTRAS</b>			<b>\$303.00</b>	

**TOTAL DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN:**

**\$34,457.95**

## Conclusiones

- Se revisó la ingeniería de detalle del diseño de la planta portátil para producir nanopartículas de hierro, como la geometría de los reactores y la disposición de los equipos de la planta para que sus medidas queden dentro del volumen que puede ser transportada en una camioneta doble cabina Mazda BT-50. Estas modificaciones no alteraron la capacidad de generación 300 litros nanopartículas ni la de la operatividad de la misma.
- La supervisión en el proceso de construcción fue interrumpida debido a las circunstancias suscitadas en el mes de Marzo del 2020, sin embargo la gestión realizada para evaluar el control de la calidad, del equipo entregado, satisfizo al director del departamento CENCINAT, obteniendo así un prototipo bajo el presupuesto establecido.
- En las pruebas de puesta en marcha, realizadas en las instalaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, se visualizó las condiciones de entrega del equipo, al mismo tiempo que se verificó el cumplimiento de las demandas y requisitos solicitados para su utilización, debido a las condiciones interrumpidas de trabajo, las pruebas fueron limitadas pero satisfactorias.
- Las pruebas realizadas por parte del equipo de CENCINAT se desarrollaron bajo la inspección de profesionales y del mismo director del departamento, estas pruebas dieron como resultado un tamaño promedio de 71.75 [nm], siendo partículas menores a 100[nm] que entran en la definición de nanopartículas, objetivo primordial del proyecto; los lotes producidos por el equipo de CENCINAT fueron de 150 litros usando agua potable, contrario a las primeras intuiciones que sugerían el uso de agua purificada o de lluvia para aumentar la calidad final del producto obtenido.

- De acuerdo a las condiciones en las que se produjeron los ensayos, las muestras tuvieron una demora de tres días antes de ser analizadas, no obstante las partículas no mostraron una degradación total, lo que permitió su medición y demostró que las nanopartículas de hierro producidas con la planta, poseen una mayor estabilidad de la prevista inicialmente, lo que da lugar a la posibilidad de transportar las nanopartículas a lugares más lejanos o de difícil acceso sin que se pierda calidad o funcionalidad.

### **Recomendaciones**

- Para un aumento en la calidad del proceso de producción, se requiere de una inversión en la implementación de automatización y control. La planta de producción fue diseñada para una afinación manual, en control con el operario, una vez establecidos los rangos y valores idóneos con los que se producen las nanopartículas, se podría implementar más equipos de control con un HMI<sup>19</sup> que permita la automatización del proceso.
- Desarrollar y evaluar un método de producción de nanopartículas utilizando un solo reactor como equipo principal, y un tanque de respaldo que sirva solamente de almacenamiento temporal y de esta manera reducir el tamaño de la planta a fin de mejorar su portabilidad y manejo en el campo. Se presenta una propuesta en el Anexo 6.
- Debido a que este proyecto tuvo la participación de varias personas, entidades y direcciones es importante la delegación y la correcta monitorización entre

---

<sup>19</sup> Human-Machine Interface: Software y hardware que permite comunicarse fácilmente con las máquinas y obtener datos en curso.

las partes involucradas, llevar a un correcto ambiente de trabajo que facilite la cooperación da como resultado el éxito de cualquier proyecto.

- De acuerdo a todo el aprendizaje obtenido durante los años invertidos en el estudio de una carrera es importante conocer tanto las fortalezas como las deficiencias, encontradas en uno mismo y en el sistema en que se ve involucrado, la Universidad nos forma con un compendio de conocimientos que abarca una gran cantidad de temas, el cual no cubre el total de las necesidades a las cuales estaremos expuesto, expandir nuestros propios límites y cubrir las carencias que se nos presenten será la mejor herramienta que tendremos para escalar en la vida laboral.

### Referencias Bibliográficas

- Agroorgánicos. (2018). *El cadmio amenaza al sector cacaoero*.  
<https://elproductor.com/el-cadmio-amenaza-al-sector-cacaoero/>
- Albornoz, J. L. (2018). *Manual de mantenimiento*.  
<https://www.monografias.com/trabajos89/manual-de-mantenimiento/manual-de-mantenimiento.shtml>
- AllDrawings. (2020). *Mazda BT-50 4x4 2.5L (2016)*. Dimensione Mazda BT-50.
- Art4. (2005). Ordenanza metropolitana N 0147. Quito. In *Consejo Metropolitano de Quito*.
- Art49. (2014). *Ley orgánica de transporte terrestre tránsito y seguridad vial R.O. N 398*.
- Art62. (2014). *REGLAMENTO A LEY DE TRANSPORTE TERRESTRE TRANSITO Y SEGURIDAD VIAL*.
- Asia Connection. (2020). *Medidor de flujo de oxígeno / medidor de flujo de oxígeno*.
- Aucancela, J., & Saquicuya, H. (2013). *Metodología de Procedimientos para precomisionado,comisionado,puesto en marcha,operacion y mantenimiento mecanico,eléctrico y electrónico de la central hidroeléctrica Alazán*. 171.
- Bemar. (2018). *La estiba y sujeción de mercancías*.  
<https://www.bemargroup.net/herramientas/estiba-y-trincaje/>
- Bermúdez, C. (2005). Curso básicos de estructuras metálicas. In *SpringerReference*.  
[https://doi.org/10.1007/SpringerReference\\_34560](https://doi.org/10.1007/SpringerReference_34560)
- Botello Salinas, L., & Garza González, M. (2007). Biosíntesis de nanopartículas de ZnS utilizando cepas de hongo. *Ingenierías*, 10(37), 16–22.
- Chavez, Al. (2016). *DISEÑO DE PROCEDIMIENTO PARA COMISIONAMIENTO DE EQUIPOS ROTATIVOS DEL PROYECTO INMACULADA – COMPAÑÍA MINERA ARES*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERU.
- Chuquisengo Picon, L. (2018). Adsorción de plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr) en

- aguas mediante nanopartículas estabilizadas de ferrita de cobalto ( $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  ).  
*Universidad Nacional Agraria La Molina, Cd.*  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3716>
- Cornejo, L. (2015). Causas que motivan las diferentes propiedades de las nano partículas. *Nuevas Tecnologías y Materiales*.
- Crane, R. A., & Scott, T. B. (2012). Nanoscale zero-valent iron: Future prospects for an emerging water treatment technology. *Journal of Hazardous Materials*, 211–212, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.11.073>
- DES S.A. (2020). *Sistemas modulares paquetizados*.  
<http://danielcom.com/productos/sistemas-modulares-paquetizados/>
- Díaz, M., & Ruano, M. (2013). *Fabricación de nanopartículas metálicas por métodos físicos con tamaño, composición química y estructura controlados. Nanopartículas de Co, Au, Ag, aleación Ag-Au y Ag-Au-Pd, y Ag@Au*.
- Dolezych Chile. (2016). *Sujeción de carga: todo lo que necesita saber*.  
<https://www.dolezych-chile.cl/productos/productos-aseguramiento-de-carga/todo-lo-que-necesita-saber/#2>
- Elion. (2020). *Control de Nivel con sensores de ultrasonido*.
- Fondriest Environmental, I. (2013). Dissolved Oxygen. *Fundamentals of Environmental Measurements*. <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/dissolved-oxygen/>
- Garrido, J. (2013). Estudio De Sensores Electroquímicos. *Química Avanzada Especialidad En Nuevos Materiales*.
- Gómez, F. (2019). *NANOPARTÍCULAS METÁLICAS Y SUS APLICACIONES*.
- Gregorio, K., & Salinas, J. (2012). *Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones*. [https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/494/1/Las nanopartículas magnéticas y sus múltiples aplicaciones.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/494/1/Las%20nanopartículas%20magnéticas%20y%20sus%20múltiples%20aplicaciones.pdf)

- Hasan, S. (2016). What is the different between ASD allowable stress design and LRFD load and resistance factor design? *Quora, Highways & Structural design and construction*. <https://www.quora.com/What-is-the-different-between-ASD-allowable-stress-design-and-LRFD-load-and-resistance-factor-design>
- Herrera Marcano, T. (2014). La contaminación con cadmio en suelos agrícolas. *Comité Editorial de Venesuelos*.
- ICEX. (2012). *Nanotecnología: futuro prometedor*.  
<https://www.youtube.com/watch?v=tF1nrzdZdrg>
- IESMAT, U. de C. (2017). Instrumentación Específica de Materiales, S.A. *Iesmat*.
- INÉDITA, & SENESCYT. (2019). *Desarrollo y aplicación de nanomateriales en la recuperación de suelos cacaoteros contaminados con cadmio*. 04, 1–26.
- Kabata-Pendías, S., & Pendías, H. (1984). Trace elements in soils and plants. *CRC Press*.
- Kourous, G. (2018). Alarma sobre la contaminación del suelo. *FAO*.
- Lilley, F. (2012). *Golder 's Project Experience with Nano Scale Zero Valent Iron*.
- Loayza, X., & Morocho, D. (2019). *Desarrollo de la gestión documental de operación y mantenimiento de la Central Hidroeléctrica Alazán*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA.
- MecatronicaLATAM. (2020). *Sensor de Posición*.
- Molina, M. (2012). *Izaje mecánico de cargas*. <https://es.slideshare.net/inmaromo/05-izaje-mecnico-de-cargas>
- Novatec S.A. (2020). *Sistemas de Dosificación e Inyección de Químicos*.  
<https://novatecfs.com/productos/sistemas-dosificacion-fluidos/>
- Olszewska-Widdrat, A., Schiro, G., Reichel, V. E., & Faivre, D. (2019). Reducing conditions favor magnetosome production in magnetospirillum magneticum AMB-1. *Frontiers in Microbiology*, 10(MAR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00582>

- Omega. (2020). *Manómetro de presión*.
- Ortega, A. (2014). GUÍA PARA REALIZAR PRECOMISIONAMIENTO Y COMISIONAMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA INDUSTRIA PETROLERA MAURICIO. *SSRN Electronic Journal*, 5(564), 1–19. <https://doi.org/10.4324/9781315853178>
- Pedrollo. (2012). *Electrobombas hidraulicas AL-RED*.
- Perugachi, M. (2020). *DISEÑO DE UNA PLANTA INDUSTRIAL Y OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLA PARA LA GENERACIÓN DE NANO-PARTÍCULAS METÁLICAS*.
- Proaño, C., & Báez, L. (2015). *Nanotecnología*.  
<https://nanotecnologiaymedioambiente.wordpress.com/2015/01/30/ecuador-en-la-industria-nanotecnologica/>
- Q-Pumps. (2020). *Electrobombas hidraulicas inoxidable*. 11.
- Revelo, J., & Muños, J. (2016). *Diseño de un reactor y simulación de la mezcla para la fabricación de nanopartículas metálicas, como proceso de remediación en suelos contaminados por la minería*. ESPE.
- Rotoplas. (2020). *Tanques de almacenamiento*. <http://rotoplas.com.ec/categoria-producto/tanques-agua/>
- Salazar, B. (2019). *¿Qué es la Gestión del Mantenimiento?*  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/que-es-la-gestion-del-mantenimiento/>
- Sawyer, C. N., & McCarty. (1978). *Chemistry for Environmental Engineering*.
- SkyCiv. (2020). Calculadora de vigas. In *Calculadora de vigas en línea gratuita para vigas en voladizo o simplemente compatibles*. <https://skyciv.com/es/free-beam-calculator/>
- Soldaduras Planells. (2020). *Estructuras Metálicas*.

<https://soldaduravalencia.com/fabricacion-estructuras-aluminio-acero-inoxidable/>

Urbán Brotons, P. (2009). *Construcción de estructuras metálicas, 4ta Edición* (4ta ed.).

USEPA. (2001). *Cost Analyses for Selected Groundwater Cleanup Projects: Pump and Treat Systems and Permeable Reactive Barriers* (EPA Report 542-R-00-013). 23.

Valls, J. (2019). Potencial REDOX de oxidación- reducción ORP, para la Bioseguridad de nuestras granjas. *AviNews, Agricultura*. <https://avicultura.info/potencial-redox-de-oxidacion-reduccion-orp-para-la-bioseguridad-de-nuestras-granjas/>

VIGAOnline. (2020). *Viga Online*. [www.viga.online](http://www.viga.online)

## **Anexos**

- Anexo 1: Curvas de electrobombas hidráulicas consultadas.
- Anexo 2: Planos: P&ID, unifilar y Planos *AS BUILD*.
- Anexo 3: Pruebas de precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha.
- Anexo 4: Micrografías de tamaño de grano ensayo de laboratorio y ensayo usando el prototipo.
- Anexo 5: Satisfacción del equipo entregado a CENCINAT.
- Anexo 6: Diseño de una planta para producción de nanopartículas de hierro con un solo reactor y un tanque de almacenamiento temporal.