

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO  
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SONDEOS EN  
LOS HORNOS DE REDUCCIÓN DE LA PLANTA LOMA  
DE NÍQUEL”.**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Saavedra M., Luis J.  
Higuera L., Elvis A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2013

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LOS SONDEOS EN LOS HORNOS DE REDUCCIÓN DE LA PLANTA LOMA DE NÍQUEL”.**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Pedro Cadenas.  
TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Oswaldo Medina

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por los Brs. Saavedra M., Luis J.  
Higuera L., Elvis A.  
Para optar al Título de  
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2013

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo principalmente a mis padres y mis hermanos, quienes son mi punto de apoyo en todo lo que hago. Los amo mucho. En segundo lugar a mis abuelos los cuales son muy importante para mí, por sus ejemplos de humildad, constancia y sabiduría y aunque uno de ellos ya no está con nosotros, siempre te tengo presente Felito.*

*"La constancia te lleva al éxito"*

*Vive la vida Feliz*

***Luis Javier Saavedra Marín***

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado  
primeramente a Dios y a todos los  
Santos, especialmente a San Antonio y  
a la Virgen del Carmen. También a mi  
Familia, Hermanos, Amigos y  
Alumnos que siempre han estado  
apoyándome en todo momento.*

*"La Fé es la Luz"*

*Elvis Antonio Higuera Lizcano*

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por permitirnos alcanzar esta valiosa meta en nuestras vidas. El señor todo lo puede.

A nuestra grandiosa casa de estudios, *"La Casa que Vence las Sombras"*, por todas las experiencias vividas, amistades, brindarnos la oportunidad de ser parte de ella y el valioso conocimiento que imparten el gremio profesoral. UUUCV!

A nuestro Tutor, Pedro Cadenas, por habernos apoyado y por sus guías acertadas para la realización de este trabajo. Agradecidos.

A la empresa Loma de Níquel, en especial a nuestro Tutor Industrial Oswaldo Medina por haber confiado la realización de este trabajo en nosotros, al personal de Taller Central quienes nos apoyaron en toda la fabricación, al personal del Departamento Predictivo que siempre estuvieron dispuestos a ayudar, al igual que el resto del personal del Departamento de Mantenimiento.

Y también agradecemos a nuestros familiares.

*Gracias!*

*Se Logro el Objetivo*

Saavedra M. Luis J.; Higuera L. Elvis A.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA  
AUTOMATIZACIÓN DE LOS SONDEOS EN LOS HORNOS DE  
REDUCCIÓN DE LA PLANTA LOMA DE NÍQUEL.**

**Tutor Académico: Prof. Pedro Cadenas.**

**Tutor Industrial: Ing. Oswaldo J. Medina V.**

**Tesis. Caracas, U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.**

**Año 2013, 300 p.**

**Palabras clave:** Diseño, Máquina de Sondeo, Horno de Reducción, Control de Proceso, Fatiga, Automatización.

**Resumen.** En la planta Loma de Níquel se realiza un procedimiento en los hornos eléctricos de reducción llamado sondeo de nivel, importante para monitorear parámetros de nivel de carga, muestras de mineral para análisis de laboratorio y optimización del control del proceso. Debido a los altos niveles de riegos presentes al realizar esta actividad, se genera la clara necesidad de automatizarlo. Con el propósito de cubrir esta necesidad, se desarrolló un proyecto para la construcción de una máquina de sondeos de nivel, en donde se realizaron los cálculos de los componentes y sistemas que conforman el equipo, tales como, requerimientos de la capacidad del motorreductor para transmitir un desplazamiento del carro de transporte de la lanza de medición, a una velocidad específica a través de la cadena del sistema. Se diseñó el eje superior del equipo y se determinó su diámetro mínimo, con los factores del límite de resistencia a la fatiga y el esfuerzo de corte máximo haciendo esta evaluación en la condición más desfavorable, considerando factores de seguridad superiores a los estándares sin comprometer otros aspectos importantes del diseño. Por otro lado, se hicieron cálculos para comprobar el funcionamiento y vida nominal de los rodamientos que sirven como apoyo del eje superior y las ruedas guías del carro de transporte. Adicionalmente, cargas axiales en los tensores de acople de la cadena, cálculo de pasadores y uniones roscadas fueron determinadas para garantizar la correcta funcionalidad de la equipo. El propósito de este estudio fue diseñar y construir una máquina que se adapte a las necesidades actuales del procedimiento de sondeo y que la información recopilada de la actividad se pueda obtener de una manera semiautomática por medio de sensores e instrumentos de automatización interconectados a un PLC (Control lógico programable) además de garantizar la menor intervención del personal de la empresa.

Saavedra M. Luis J.; Higuera L. Elvis A.

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE FOR AUTOMATION  
OF PROBE IN REDUCTION FURNACE LOMA NICKEL PLANT.**

**Academic Tutor: Prof. Pedro Cadenas.**

**Industrial Tutor: Ing. Oswaldo J. Medina V.**

**Thesis. Caracas, U. C. V. Faculty of Engineering. School of Mechanical  
Engineering.**

**Year 2013, 300 p.**

**Key Words:** Design, Probe Machine, Reduction Furnace, Process Control, Fatigue, Automation.

**Synopsis.** In Loma Nickel plant is realized a procedure in electric reduction furnaces, it is called level probe, is important to monitor charge level parameters, mineral samples for laboratory analysis and optimization of process control. Owing high levels of risks present to carry out this activity, generates a clear necessity to automate it. With the purpose of cover this need, was developed a project for the construction of a machine-level probe, where was realized calculations of components and system which integrate equipment, such as, capacity requirements of gearmotor to transmit a displacement of transport carriage of a measurement spear with a specific speed through system string. Was designed upper shaft of equipment, its minimum diameter was determined, with factors of resistance limit to fatigue and maximum shear, making this assessment in the most unfavorable condition considering higher safety factors to standards without compromising other important design aspect. On the other hand, were done calculation to check the operation and nominal bearing life that serve as upper shaft support and guide wheels transport carriage. Furthermore, axial loads on the tensioning chain coupling, calculation of pins and screw were determined to ensure the proper functionality of the equipment. The purpose of this study was to design and build a machine that meets current needs of probe procedure and the collected information of activity could be obtained in a way semi automatic through automation sensors and instruments interconnected to a PLC (Programmable Logic Control) while ensuring the least intervention of company personnel.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>xi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>xii</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I - Planteamiento del Problema</b>	<b>4</b>
1.1. Objetivos de la Investigación	6
Objetivo General	
Objetivos Específicos	
1.2. Justificación del Proyecto	7
<b>CAPÍTULO II – Marco Teórico</b>	<b>9</b>
2.1. Antecedentes	10
2.2. Descripción del Proceso de Reducción-Fusión	12
2.3. El Diseño	19
2.4. Metodología del Diseño	20
2.5. Tormenta de Ideas	23
2.6. Máquinas de Elevación de Transporte	25
2.7. Sensores de Radar	27
2.8. Estudio de Fuerzas para una Cadena Transportadora	28
2.9. Cadenas de Rodillos	30
2.10. Reacciones y Momentos Flectores en Vigas	32
2.11. Fatiga de Materiales	33
2.12. Análisis de Esfuerzos Cortantes en Ejes Macizos	36
2.13. Cuñas	37



2.14. Vida de los Rodamiento	40
2.15. Rodadura	42
2.16. Pandeo en Columnas	45
2.17. Deformación Elástica de un miembro Cargado Axialmente	47
2.18. Oxicorte	49
2.19. Aceros Estructural	51
2.20. Soldadura Eléctrica	52
2.21. Equipos Eléctricos	57
<b>CAPÍTULO III – Diseño Conceptual</b>	<b>60</b>
3.1. Fase Divergente	61
3.2. Fase de Transferencia	64
3.3. Fase Convergente	74
3.4. Desarrollo y Optimización	86
3.5. Construcción y Especificaciones	86
<b>CAPÍTULO IV – Desarrollo de la Máquina de Sondeos</b>	<b>87</b>
4.1. Sistema de Transmisión	90
4.2. Sistema de Transporte	109
4.3. Análisis y Selección de los Sujetadores del Equipo	120
4.4. Selección del Contactador Principal	123
4.5. Especificaciones de Diseño	125
<b>CAPÍTULO V – Construcción de la Máquina de Sondeos</b>	<b>127</b>
5.1. Materiales Usados en la Construcción	128
5.2. Descripción del Proceso de Construcción	129
5.3. Máquinas Herramientas y Equipo Utilizado	129
5.4. Fabricación de la Rueda Dentada Motriz y Conducida	134
5.5. Fabricación del Eje Superior	135
5.6. Fabricación de la Estructura Base de la Máquina de Sondeo	136
5.7. Fabricación de la Lámina Posterior de la Viga Madre	137

5.8. Fabricación de la Pieza Frontal del Motor y Apoyo de la Base de la Viga Estructural	138
5.9. Fabricación de la Base y Nervios de Apoyo del Motor	139
5.10. Fabricación de la Plancha Superior	140
5.11. Fabricación del Carro de Transporte Porta Lanza	141
5.12. Fabricación del Eje de la Rueda Guía	143
5.13. Fabricación de la Rueda Guía	144
5.14. Fabricación del Tensor de Acople de la Cadena	145
5.15. Fabricación de la base de la Máquina	146
5.16. Uniones Atornilladas de la Máquina de Sondeo	147
5.17. Construcción del Sistema Automatizado de la Máquina de Sondeo	149
<b>CAPÍTULO VI – Costos y Rentabilidad</b>	<b>153</b>
6.1. Análisis de Costos	154
<b>CAPÍTULO VII – Manual de Instalación y Operación</b>	<b>158</b>
7.1. Manual de Instalación	159
7.2. Manual de Operación ó Instrucción Operacional	176
7.3. Mantenimiento en caso de fallas	182
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>184</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>186</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>189</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>191</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla.2.1. Nomenclatura de los Electroodos (Fuente: Manual de Electrodo para Soldar, Grupo Infa)	53
Tabla.2.2. Tipo de Corriente y Penetración (Fuente: Manual de Electrodo para Soldar, Grupo Infa)	54
Tabla 3.1. Matriz de Preselección de Ideas	74
Tabla 3.2. Ponderación de los Criterios de Selección	82
Tabla 3.3. Evaluación de Consideraciones de Diseño	84
Tabla 3.4. Matriz de Decisión	85
Tabla 4.1. Cálculo Aproximado del Peso de la Cadena	91
Tabla 4.2. Coeficiente Correctivo debido a Condiciones De Trabajo y Mantenimiento $C_1$	91
Tabla 4.3. Coeficiente Correctivo por Tiempo Trabajo $C_2$	92
Tabla 4.4. Contactores TeSys Serie D	123
Tabla 5.1. Equipos Utilizados en la Construcción	123
Tabla 5.2. Resumen de Uniones y Fijaciones Atornilladas	140
Tabla 6.1. Costos de los repuestos usados en la construcción	155
Tabla 6.2. Costos de las piezas fabricadas en máquinas y herramientas	155
Tabla 6.3. Costos de las Horas Hombre de soldadores en la construcción	156
Tabla 6.4. Costos de los elementos de tornillería	156
Tabla 7.1. Lista de Partes del ensamblaje estructural	159
Tabla 7.2. Lista de Partes de la rueda Guía	162
Tabla 7.3. Lista de Partes del carro de transporte	164
Tabla 7.4. Lista de Partes del Sistema motriz	166
Tabla 7.5. Lista de Partes del Sistema conducido Superior	168
Tabla 7.6. Lista de Partes de la Base de la Máquina	170
Tabla 7.7. Lista de Partes de la Base de la Máquina	172
Tabla 7.8. Riesgos y Control de Riesgos en la actividad	179
Tabla 7.9. Anormalidades y Acciones Correctivas	180
Tabla 7.10. Fallas, Causas y acciones Correctivas de mantenimiento	183

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Descripción del Mineral en los Hornos de Reducción	14
Fig. 2.2. Techo o Bóveda del Horno de Reducción L2	15
Fig. 2.3. Colada de Metal en el Horno de Reducción L2	16
Fig. 2.4. Sondeos en los Hornos de Reducción de Loma de Níquel	18
Fig. 2.5. Elevador de Cangilones (Fuente: UNT-Facultad Regional Resistencia 2009)	27
Fig. 2.6. Transportadores (Fuente: UCLM-Departamento de Ing. Mecánica 2009)	28
Fig. 2.7. Transportador (Fuente: UCLM-Departamento de Ing. Mecánica 2009)	28
Fig. 2.8. Parte de una Cadena de Rodillos Doble Torón (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica. Shigley 2008)	30
Fig. 2.9. Acoplamiento de una Cadena en una Catarina (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)	30
Fig. 2.10. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas (Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006)	32
Fig. 2.11. Distribución de Esfuerzo en un Eje Macizo (Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006)	36
Fig. 2.12. Esquema de una cuña de caras paralelas	38
Fig. 2.13. Distribución de fuerzas en una chaveta sobre un eje	38
Fig. 2.14. Esquema de una cuña Woodruff	38
Fig. 2.15. Rodadura de un Cilindro Indeformable sobre una Superficie Deformable (Fuente: Physics for scientists and Enginner, Serway R. 2004)	42
Fig. 2.16. Valores la constante C dependiendo de la Fijación (Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006)	47
Fig. 2.17. Diagrama de Cuerpo Libre y Diferencial de Alargamiento	48
Fig. 2.18. Soplete de Oxicorte (Fuente: Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo España. 2010)	49
Fig. 2.19. Electrodo GRICON E6010 y E7018	56

Fig. 3.1. Winche	
(Fuente: Buscador Google/Image)	65
Fig. 3.2. Pistón Neumático	
(Fuente: Buscador Google/Image)	65
Fig. 3.3. Sistema de Cadenas	
(Fuente: Buscador Google/Image)	65
Fig. 3.4. Sistema de Engranajes	
(Fuente: Buscador Google/Image)	66
Fig. 3.5. Instrumento Radiactivo	
(Fuente: Buscador Google/Image)	66
Fig. 3.6. Sistema de Radar	
(Fuente: Buscador Google/Image)	67
Fig. 3.7. Sistema de Ascensor	
(Fuente: Buscador Google/Image)	67
Fig. 3.8. Sistema Robótico	
(Fuente: Buscador Google/Image)	68
Fig. 3.9. Husillo de Avance	
(Fuente: Buscador Google/Image)	69
Fig. 3.10. Sistema de Poleas	
(Fuente: Buscador Google/Image)	69
Fig. 3.11. Gato Hidráulico	
(Fuente: Buscador Google/Image)	70
Fig. 3.12. Sistema de Balancín	
(Fuente: Buscador Google/Image)	71
Fig. 3.13. Sistema de Cremallera–Piñón	
(Fuente: Buscador Google/Image)	71
Fig. 3.14. Rodillos Sujetadores y Empujadores	
(Fuente: Buscador Google/Image)	72
Fig. 3.15. Propuesta de Diseño # 1	76
Fig. 3.16. Propuesta de Diseño # 2	77
Fig. 3.17. Propuesta de Diseño # 3	78
Fig. 3.18. Propuesta de Diseño # 4	79

Fig. 3.19. Propuesta de Diseño # 5	80
Fig. 3.20. Propuesta de Diseño # 6	81
Fig. 4.1. Vista Isométrica de la Máquina de Sondeo	89
Fig. 4.2. Carro de Transporte	90
Fig. 4.3. Eje Superior Del Sistema de Transmisión	98
Fig. 4.4. Esquema del Eje Superior	98
Fig. 4.5. Diagrama de Esfuerzo Cortante	99
Fig. 4.6. Diagrama de Momento Flector	100
Fig. 4.7. Diagrama de Torsión	100
Fig. 4.8. Esquema de la Rueda Guía	106
Fig. 4.9. Prueba en la Balanza	109
Fig. 4.10. Distribución de Fuerzas Lateral	110
Fig. 4.11. Carro de Transporte (Vista Lateral)	110
Fig. 4.12. Diagrama de Fuerzas en la Estructura de la Máquina	112
Fig. 4.13. Diagramas de Cuerpo Libre de la Pieza de acople De la Cadena	115
Fig. 4.14. Esquema de Tensor de la Cadena	117
Fig. 4.15. Diagrama de Cuerpo Libre del Pasador	117
Fig. 4.16. Diagrama de Fuerzas en la Base de la Máquina	120
Fig. 4.17. Esquema de fijación de un Perno Hexagonal (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)	120
Fig. 4.18. Contactor Principal LC1D	124
Fig. 5.1. Guillotina Hidráulica	131
Fig. 5.2. Morrocoy-Oxicorte Automático	131
Fig. 5.3. Soplete de Oxicorte con Acetileno	131
Fig. 5.4. Torno de bancada de 4 metros	131
Fig. 5.5. Torno de bancada de 2 metros	131
Fig. 5.6. Fresadora Mecánica	131
Fig. 5.7. Dobladora Hidráulica	132
Fig. 5.8. Prensa Hidráulica	132
Fig. 5.9. Cizalla Hidráulica vaivén	132
Fig. 5.10. Puente Grúa 5 Ton	132

Fig. 5.11. Máquina de Soldar Miller	132
Fig. 5.12. Montacargas TOYOTA	132
Fig. 5.13. Motor Reductor SEW EURODRIVE	133
Fig. 5.14. Soporte y Rodamiento Superiores	133
Fig. 5.15. Prueba de Asiento de la Cadena ISO 20B-1	134
Fig. 5.16. Rueda Dentada	134
Fig. 5.17. Fabricación del Cuñero	135
Fig. 5.18. Eje Superior	135
Fig. 5.19. Soldadura Intermitente Perfil UPN 80	136
Fig. 5.20. Esmerilando los Cordones de Soldadura	136
Fig. 5.21. Tubos Guardacables	137
Fig. 5.22. Corredera de los Sensores	137
Fig. 5.23. Polipasto de Grúa 5Ton	138
Fig. 5.24. Posicionando el Apoyo de la Base	138
Fig. 5.25. Vista de la Parte Inferior del Equipo	139
Fig. 5.26. Parte Inferior del Equipo	139
Fig. 5.27. Plancha Superior	140
Fig. 5.28. Estructura de Fijación de la Plancha Superior	140
Fig. 5.29. Estructura Externa del Carro	141
Fig. 5.30. Carro de Transporte de la Lanza de Medición	142
Fig. 5.31. Porta Lanza Ensamblado en el Carro de Transporte	142
Fig. 5.32. Ejes de las Ruedas Guía	143
Fig. 5.33. Rueda Guía Ensamblada con el Rodamiento	144
Fig. 5.34. Ruedas Guías Ensambladas	144
Fig. 5.35. Tensores de Acople de la Cadena al Carro de Transporte	145
Fig. 5.36. Planchones Base de la Máquina	146
Fig. 5.37. Base de la Máquina y Láminas Aislantes	146
Fig. 5.38. Esquema de la Estructura de Medición del desplazamiento de la Máquina	150
Fig. 5.39. Sensor Inductivo Limit Switch y Sensor de Proximidad	150

Fig. 5.40. Esquema de Interconexión de Redes de la Planta Loma de Níquel	151
Fig. 5.41. PLC-CPU Siemens Serie 400	151
Fig. 5.42. PLC-CPU Siemens Serie 300	151
Fig. 5.43. Sala de PLC del Área de Reducción 420	152
Fig. 5.44. Sala de MCC del Área de Reducción 420	152
Fig. 5.45. Sensor Inductivo Limitador de Carrera Superior del carro de Transporte	152
Fig. 5.46. Esquema de Conexión del Motorreductor (Fuente: Siemens 3UF5 SIMOCODE-DP System Motor Protection an Control Device)	152
Fig. 7.1. Despiece del Ensamblaje Estructural de la Máquina	159
Fig. 7.2. Despiece del Ensamblaje de la Rueda Guía	162
Fig. 7.3. Despiece del Ensamblaje del Carro de Transporte	164
Fig. 7.4. Despiece del Ensamblaje del Motor y el Sistema de medición de Pulsos	166
Fig. 7.5. Despiece del Ensamblaje de la Plancha Superior y Componentes	168
Fig. 7.6. Despiece de la Fijación Apernada de la Base de la Máquina de sondeo y el Techo del Horno Eléctrico	170
Fig. 7.7. Protección Refractaria y Ensamblaje en la Estructura	172
Fig. 7.8. Flecha del lado flojo de la cadena	175
Fig. 7.9. Anexo de la instrucción operacional	181



## **INTRODUCCIÓN**

El control de los parámetros de un proceso industrial es una actividad muy rigurosa y que debe ser realizada con el mayor grado de precisión posible, ya que la calidad y la eficiencia de dicho proceso dependen, de que tan bien sea llevado este control. El proceso de reducción en el ámbito industrial de la minería es de vital importancia ya que esta es la etapa del proceso donde el mineral es fundido en los hornos de reducción y se consigue separar el metal de la escoria, el cual es llamada fase metálica y es la materia prima para la producción de la ferroaleación.

Loma de Níquel es una empresa filial de PDVSA Industrial S.A. que en los últimos 12 años estuvo en manos del grupo Anglo American plc formándose sobre las bases de esta empresa Londinense, pero a los 10 días del mes de noviembre del año 2012, paso a estar bajo la tutela del estado. Esta planta se construyo en Venezuela con el propósito de la explotación del níquel, un mineral con las propiedades necesarias para usarse como materia prima en la fabricación de aceros especiales. Se encuentra ubicada en Tiara estado Aragua, aunque el total del área de la planta abarca también, parte del estado Miranda. Esta empresa contribuye con el desarrollo del estado generando un total de 1200 empleos (entre directos e indirectos), incentiva el desarrollo en las comunidades aledañas aportando recursos financieros y tecnológicos para la salud, educación, agricultura y transporte. Uno de sus principales objetivos es el compromiso con la mejora continua de sus procesos de producción y desarrollo tecnológico, haciendo énfasis en uno de sus valores "La Innovación", incrementando de esta forma su eficiencia, también a favor de sus trabajadores brindándoles un mejor ambiente de trabajo, sin que dicho progreso perjudique el medio ambiente, devolviendo a éste los recursos naturales tal y como se tomaron y de esta manera preservándolos.

La eficiencia de toda planta productora de ferroaleación por la vía pirometalúrgica, está estrechamente ligada a las actividades de control de parámetros del área de reducción, en el caso particular de la planta Loma de Níquel la eficiencia depende de cada uno de los procesos y que tan bien estén controlados sus parámetros

para conseguir un desempeño óptimo de los equipos. La pérdida de la eficiencia traerá consecuencias para la empresa, como lo son la pérdida de producción, disminución de la calidad del producto, desgaste de los equipos y problemas operacionales. La información es la clave para controlar un proceso, por lo tanto esta es la visión principal de la innovación tecnológica de la compañía. En el caso del área de reducción, las condiciones dentro de los Hornos Eléctricos no están siendo controlado de la mejor manera ni de forma óptima.

En el área de reducción de la gerencia metalúrgica de Loma de Níquel, existen 2 hornos de reducción de electrodo sumergido, los cuales tienen como función, fundir el mineral y separar el metal de la escoria, dichos hornos tienen 17,5 metros de diámetro y la fundición del mineral la ocasiona un arco eléctrico generado por tres electrodos de 1,5 metros de diámetro que producen una potencia máxima de 45 MW, donde logra alcanzar una temperatura de 1650 °C.

Los hornos de reducción de la planta, tienen una serie de variables operacionales que deben ser controladas por el Departamento de Procesos para su operación óptima, como por ejemplo, Los niveles de carga dentro del horno, la distribución del material, temperaturas internas, alimentación de calcinado, tensión de los refractarios, el arco eléctrico de los electrodos, entre otros, que deben ser monitoreados constantemente, ya que dentro de él existen 4 tipos de carga en operatividad normal, una primera capa de Calcinado o Material de Alimentación, una segunda capa de Escoria que se desprende del metal al momento de su fundición y que por menor densidad sube, una tercera capa de Metal Fundido que se extrae para la producción del FeNi (Ferro-Níquel) y la última, llamada Sedimentación "*Build up*" que está compuesta de metal que se encuentra con una contextura pastoso, debido a que el fondo del horno tiende a poseer una menor temperatura, por lo tanto este material por tener una mayor densidad se sedimenta en el fondo del horno. Mientras este último nivel tenga mayor altura, existe una mayor probabilidad de falla en el arco eléctrico y si esta capa sobrepasa el metro de altura puede ocasionar daños graves en las paredes internas de refractario. Para obtener toda la información sobre las

variables operacionales de los hornos de reducción expuestas anteriormente, se realiza un procedimiento llamado Sondeo.

Este procedimiento de sondeo aporta la información más precisa sobre cuáles son los niveles de cargas máximos y óptimos dentro del horno. Además de esto ayuda a la realización de una planificación de coladas más eficientes por parte del Departamento de Operaciones, ya que se determina con propiedad, cuál de los dos hornos de las líneas de producción tiene una mayor cantidad de metal, para darle prioridad al momento de la colada. De este modo se plantea en este trabajo el Diseño y construcción de un prototipo para la automatización de los sondeos en los hornos de reducción y así optimizar el procedimiento.

# *CAPÍTULO I*

## CAPÍTULO I

### CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

Los hornos de reducción de la planta Loma de Níquel, son unos de los equipos más importantes del proceso productivo de ferroníquel. Estos tienen una serie de variables operacionales que deben ser controladas por el Departamento de Procesos y Operaciones, para su funcionamiento.

El método más efectivo propuesto por el Departamento de Procesos para controlar las condiciones internas de los hornos para su funcionamiento óptimo, es la medición continua de los niveles de carga máximo y por consecuencia los niveles del material sedimentado en el fondo, llamado "*Build up*" encontrado dentro de ellos, los cuales están previamente aproximados por medio de estimaciones de la alimentación de calcinado desde los Ductos de Alimentación, llamados "bines de carga" e historiales de coladas entre otros, por lo tanto el monitoreo de las mediciones deben acercarse a dichas estimaciones.

Actualmente en la planta Loma de Níquel, este procedimiento de sondeo o monitoreo de niveles de carga, son realizados por dos operadores que introducen una barra de acero al carbono de 1/2" y 6 metros de largo dentro del horno. Luego la extraen, se endereza la barra con una serie golpes para poder medir la zona que estuvo sumergida en el material, y se realizan análisis químico de metal y escoria con el material que queda enconchado en la barra. (Ver figura 2.1)

Este procedimiento de sondeos en los hornos, aunque es importante para obtener mayor información de las variables del horno y llevarlo a su punto de operación óptima, es de muy alto riesgo para los operadores y atenta con el primer valor de la empresa, "La Seguridad", además de que requiere la desconexión total de los electrodos del horno retrasando así el proceso productivo de la planta, que sabemos que debe ser continuo. Esto se traduce en la disminución de utilidades de la empresa, ya que 1 hora de desconexión de uno de los hornos de reducción, equivale a 10.000 dólares de producción.

Por estas razones le es necesario a la empresa construir un sistema automatizado que realice la operación del sondeo sin necesitar la desconexión del horno o en su defecto disminuir el tiempo de la actividad, para obtener un ahorro considerable de utilidades para la empresa, además de seguir mejorando el ambiente de trabajo de los operadores y cumplir con los estándares de seguridad impuestos por la propia compañía. Es este el objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado.

## **1.1. Objetivos de la Investigación**

### ***1.1.1. Objetivo General***

Diseñar y construir un prototipo para la automatización de los sondeos en los hornos de reducción de la planta Loma de Níquel.

### ***1.1.2. Objetivos Específicos***

- Investigar bibliografía de la información relacionada con los equipos que componen el área de reducción.
- Hacer un estudio detallado del procedimiento actual para la realización de los sondeos en los hornos de reducción de la planta Loma de Níquel.
- Evaluar el ambiente en donde estará operando la máquina automatizada de sondeo.
- Definir las limitaciones que debe cumplir el diseño de la máquina para la automatización de los sondeos en los hornos de reducción.
- Aplicar la metodología de diseño para la selección de la idea que nos llevara a la solución más eficiente y efectiva.
- Seleccionar los equipos que compondrán el sistema automatizado de sondeos en los hornos eléctricos de reducción, tales como el Encoder (Sensores de Posicionamiento), Limitadores de Carrera y Componentes de la Máquina, entre otros.
- Realizar planos de la máquina para la memoria del proyecto.

- Determinar costos y rentabilidad de la implementación del prototipo.
- Simular el accionamiento del equipo ensamblado en el programa de Diseño Computacional, Inventor Autodesk.
- Construir el prototipo de la máquina automatizada de sondeos en los hornos de reducción.
- Realizar un Manual de Instalación y Operación para el equipo.

## 1.2. Justificación del Proyecto

El Ingeniero Mecánico está relacionado con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimientos son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura, la teoría eléctrica y de la deformación. El diseño en la ingeniería involucra todas estas áreas que componen esta disciplina. Uno de los principales objetivos de la ingeniería es el compromiso que tiene con la mejora continua de los procesos de producción y desarrollo tecnológico, haciendo énfasis en uno de sus valores más importantes "La Innovación", incrementando de esta forma su eficiencia, además de brindarles un mejor ambiente de trabajo a las personas que forman parte del proceso productivo, sin que este progreso termine perjudicando el medio ambiente.

Uno de los procesos de producción de ferroníquel de la planta Loma de Níquel, es la etapa de Reducción, donde el mineral pre-reducido se introduce en dos hornos de arco eléctrico sumergido que generan el calor suficiente para la fusión del mineral.

Para el funcionamiento óptimo de estos hornos, deben monitorearse una serie de variables de operación y para obtener esta información de una forma más precisa, los departamentos de procesos, operaciones y mantenimiento de la empresa Loma de Níquel comenzaron a realizar el procedimiento de sondeos en los hornos de reducción, donde dos operadores introducen una barra de 6 metros en el interior de

dichos hornos y al momento de salir de la bóveda la enderezan para tomar las mediciones, pero debido a las altas temperaturas a las que se somete la barra, esta se deforma complicando el proceso y colocando en alto riesgo de incidente a los operadores del sondeo, además que es necesaria la desconexión total de los hornos eléctricos lo que conlleva a una pérdida considerable de ingresos, por el retraso de la producción.

Esta problemática que se presenta en la empresa Loma de Níquel con el procedimiento de sondeos en los hornos de reducción está abierta a un cambio para una oportunidad de mejora y desarrollo tecnológico lo cual implicara para la misma un ahorro de costos de operaciones, además de eliminar una actividad insegura.



# ***CAPÍTULO II***

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

Este capítulo se enfoca las teorías primordiales que sustentan la investigación, así como los trabajos elaborados con anterioridad o antecedentes que guarden relación directa con el tema y que sirven de orientación para el desarrollo y avance del diseño.

#### 2.1. Antecedentes

Según Euskonews (2012), se describen por primera vez en el país Vasco, los hornos de reducción de hierro del tipo de las ferrerías de monte, gracias a los hallazgos realizados a lo largo de más de tres años de investigación, se determinó que se trataban de estructuras o cubetas de gran tamaño, excavadas en zonas de ladera, de forma troncocónica y que, por su parte inferior, comunican con el exterior a través de un canal. No se sabe en qué época se establecieron las primeras ferrerías de monte en el país Vasco, pero sí sabemos que la metalurgia del hierro se desarrolló en él, al menos, desde mediados del primer milenio A.C.

Según Beaty, H. (2006), un horno de arco eléctrico (siglas en inglés: "EAF *Electric Arc Furnace*") es un horno que se calienta por medio de un arco eléctrico.

Los tamaños de un horno de arco eléctrico van desde una tonelada de capacidad hasta las 400 toneladas de capacidad utilizada en la industria metalúrgica. La temperatura en el interior de un horno de arco eléctrico puede alcanzar los 1800 °C.

El horno de arco eléctrico para acería consiste en un recipiente refractario alargado, refrigerada por agua para tamaños grandes, cubierta con una bóveda también refractaria y que a través de la cual uno o más electrodos de grafito están alojados dentro del horno. El horno está compuesto principalmente de tres partes:

- El almacén, que consiste en las paredes refractarias y la cimentación.
- El hogar, que consiste en el lecho refractario que bordea la cimentación.

- La bóveda o cubierta, de aspecto esférico o de sección cónica, que cubre el horno con material refractario. Puede estar refrigerada con agua. La bóveda está construida con materiales de alta resistencia pirosfópica, generalmente de hormigón refractario, para soportar grandes choques térmicos y en el cual entran los electrodos de grafito que producen el arco eléctrico.

Un horno típico de corriente alterna tiene tres electrodos. Los electrodos tienen una sección redonda y, por lo general, en los segmentos con acoplamientos roscados, de modo que a medida que se desgastan los electrodos, se pueden agregar nuevos segmentos. El arco se forma entre el material cargado y el electrodo, así la carga se calienta tanto por la corriente que pasa a través de la carga como por la energía radiante generada por el arco. Los electrodos suben y bajan automáticamente mediante un sistema de posicionamiento, que puede emplearse en cilindros hidráulicos.

**En el año 2008, Herrera, C. y Gilda C.,** mencionan en su trabajo una serie de eventos desfavorables, especialmente en el área de reducción, ya que durante la granulación de escoria suelen ocurrir explosiones que afectan el proceso y la producción de la empresa, además de que estas producen un efecto negativo en las condiciones del horno y en los canales de granulación. Para determinar qué condiciones afectan el proceso e influyen mayoritariamente en las explosiones, se procedió a llevar control de las granulaciones de escorias con respecto a observaciones visuales y parámetros técnicos, además de registrar si ocurren explosiones o no y, en qué cantidad para así conocer bajo que parámetros se originan y comparar con aquellas granulaciones que no presentan explosión alguna.

Lo mencionado anteriormente nos ayuda a establecer ciertos parámetros en la determinación de condiciones que afectan el proceso de granulación de escoria que a su vez forma parte del área de reducción. De aquí se obtiene una mayor información o referencia del proceso, enfocándose este trabajo hacia un registro de explosiones en cada horno.

En el año 2009 López, C. y Monsalve, R., Este trabajo muestra un conocimiento enfocado de manera muy específica de cuáles son las características metrológicas de más importancia que se deben tener en cuenta a la hora de calibrar un instrumento de medición para ello, hicieron o un estudio de las normas COVENIN – ISO 10012 – 1: 1993. COVENIN 2552: 1999, de manera tal de poder comparar al final de la investigación si los equipos del área de calcinación cumplen con lo establecido en las normas nombradas anteriormente. De aquí podemos obtener la información necesaria sobre los equipos o instrumentos que maneja la planta Loma de Níquel y principalmente, que tecnología está asociada a sus sistemas automatizados para poder tener algunas referencias para nuestro diseño, ya que uno de los objetivos del proyecto es precisamente la automatización de un proceso.

Rojas, J. y Tello, H. (2012), Realizaron una investigación para el diseño de un espacio de enseñanza-aprendizaje dentro del programa de estudio de la EIM donde se aplicaron diferentes teorías del diseño conceptual plasmadas en literaturas y de allí crearon su propia metodología de diseño. Este trabajo aporta una nueva visión del diseño conceptual y permite tomar las mejores herramientas de todas las metodologías de diseño que fueron analizadas.

## **2.2. Descripción del Proceso de Reducción-Fusión**

El propósito del área de reducción, es transformar el mineral pre-reducido y calcinado en dos fases: una denominada escoria (conformada principalmente por óxidos) y otra metálica con proporciones importantes de Ni y Fe. Para ello, el mineral es transportado a través de un sistema de alimentación a los hornos eléctricos, donde pasa del estado sólido a líquido, al estar sometido al calor generado por un arco eléctrico. La separación del metal y la escoria se logra por diferencia de densidad ya que la escoria es menos densa y el grado de reducción de Fe y Ni, al igual que las pérdidas de Ni en la escoria son controladas a través de la dosificación de carbón. Sin embargo en la solera del horno suele formarse una fase del mineral se encuentra con una textura pastosa, que por tener una mayor densidad se sedimenta en el fondo y

es llamado "*Build up*". Estas fases líquidas son extraídas por medio de las piqueras ubicadas a distintos niveles. La escoria se granula con una corriente de agua y el metal es vaciado en cucharas para pasar a la próxima fase del proceso.

El proceso de reducción se realiza en dos hornos de arco eléctrico sumergido de 45 MW suministrados por DEMAG, uno por cada línea. El calor necesario para la fusión es obtenido al pasar una corriente eléctrica por tres electrodos, por el material fundido y la carga sólida. En algunos casos se establece un arco eléctrico entre el extremo del electrodo y el baño, operación denominada "arco abierto".

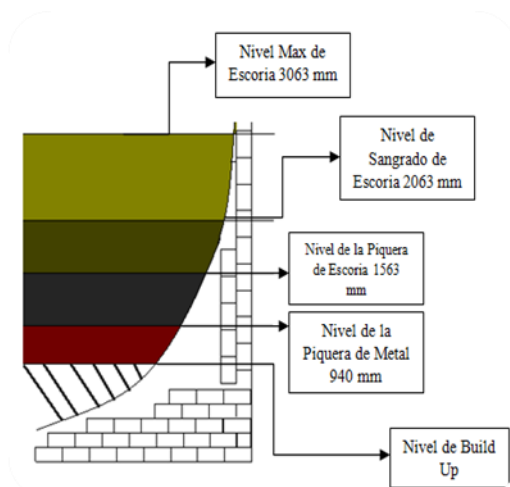
El horno consiste en una carcasa de acero de 25 mm de espesor y un diámetro de 17,5 m sin incluir el refractario, y una altura de 6 m. Esta carcasa es refrigerada por un sistema de rociadores que proyectan una película de agua en la misma, proveniente del circuito abierto de recirculación. Internamente está protegida por ladrillos refractarios magnesianos en el fondo o solera del horno, hasta una altura de 4,2 m, donde se encuentra el máximo nivel de escoria y a partir de allí es protegida con ladrillos silicoaluminosos.

El ferro níquel se produce en la interface escoria-carga y su calidad está influenciada por un proceso cinético. Durante este proceso se obtiene básicamente tres productos: El ferro-níquel con una proporción Fe:Ni 4:1, la escoria el cual es un aproximado del 80% del mineral cargado y los gases de las reacciones. Se estima que la recuperación de níquel en el proceso sea de 94% y la reducción de Fe es determinada con la cantidad de C residual en el calcinado. Parte del Fe va a la escoria. La reducción de Fe, es un factor importante en el control de la operación, toda vez que su proporción en la escoria determina su punto de fusión, conductividad eléctrica y el potencial de oxígeno.

El control del proceso viene dado principalmente por la carga de carbón y el carbono fijo residual en el calcinado alimentado, la reducción selectiva de Ni y Fe, requiere solo de una reducción parcial de este último, para obtener una ferro-aleación de contenido de Ni entre 20% a 24%.

### 2.2.1. Descripción del Mineral dentro de los Hornos Eléctricos de Reducción

Dentro de los Hornos de Reducción existen 4 tipos de carga en operatividad normal, una primera capa de calcinado o material de alimentación, una segunda capa de escoria que se desprende del metal al momento de su fundición y que sube por decantación, una tercera capa de metal fundido que se extrae para la producción del FeNi (Ferro-Níquel) y la última capa de Sedimentación llamada "Build up" que está compuesta de metal que no se encuentra en estado líquido ni sólido, debido a que el fondo del horno tiende a tener una temperatura menor, por lo tanto este material por tener una mayor densidad se asienta en el fondo del horno. Mientras este último nivel tenga mayor altura, existe una mayor probabilidad de falla en el arco eléctrico y si esta capa sobrepasa el metro de altura puede ocasionar daños graves en las paredes internas de refractario.



**Fig. 2.1. Descripción del Mineral en los Hornos de Reducción**

### 2.2.2. Techo del Horno Eléctrico

El techo o bóveda del horno fue diseñado por Claudius-Peter y consiste de un arreglo de ladrillos suspendidos de una estructura de vigas y rieles. Estos ladrillos son de mulita, que los hace menos sensibles a cambios de temperatura bajo la bóveda. El

arreglo permite la expansión horizontal de los ladrillos de la bóveda y la vertical de los ladrillos de la pared. Para el Diseño del equipo se debe tomar como una limitación, el espacio geográfico con que se dispone en el techo del horno, ya que encima de este, se encuentran los 18 ductos de alimentación de mineral, los tensores que mantienen suspendidos los ladrillos y los 3 electrodos que funden el mineral dentro de él.



**Fig. 2.2. Techo o Bóveda del Horno de Reducción L2**

### ***2.2.3. Colada de Metal***

Cada horno cuenta con dos orificios para la colada de metal, llamados piqueras de metal y de canales metálicos hechos de secciones de vigas de acero dulce que actúan como revestimiento refractario. Los orificios de colada se utilizan de manera alterna y están ubicados en una posición que coinciden con las cucharas de refinación de 40 toneladas de capacidad.

La colada se realiza a intervalos nominales de 4 horas para cada horno. El volumen usual de las coladas es de 30-32 toneladas, que eventualmente se complementan con chatarra del área de refinación. Las cucharas son de acero dulce, revestidas con material refractario.

La planificación de estas coladas de metal, se realizan de acuerdo a parámetros como la potencia de los electrodos, el nivel de carga del horno,

temperaturas internas y calidad de material de alimentación. que ya están analizados históricamente, lo que permite resumir las coladas en intervalos de tiempos en operaciones normales.

El Departamento de Procesos se encarga de monitorear y mejorar el control de estos parámetros donde la información es valiosa y uno de los métodos usados para su obtención, es precisamente el procedimiento de sondeo.



**Fig. 2.3. Colada de Metal en el Horno de Reducción L2**

#### ***2.2.4. Procedimiento de Sondeo en los Hornos de Eléctricos de Reducción***

Este procedimiento se comenzó a implementar en las empresas pertenecientes al consorcio de Anglo América, específicamente en una planta de producción de níquel que se encuentra en Sudáfrica, con la finalidad de mejorar el control de sus procesos e innovar tecnológicamente en la industria minera del mundo, mas sin embargo, algunas plantas comenzaron a usar instrumentos para la medición de tipo sonar, pero son muy costoso y no garantiza una vida útil rentable por las condiciones en donde se encontrara instalado.

Los hornos eléctricos de reducción tienen una serie de variables operacionales que deben ser controladas por el Departamento de Procesos para su operación optima y para controlar dichas variables operacionales la prioridad es obtener la mayor cantidad de información del proceso.



Este procedimiento de sondeo aporta la información más precisa de, cuáles son los niveles de cargas máximo dentro de los hornos eléctricos de reducción. Además de esto permite aumentar la capacidad de fusión, reteniendo la cantidad óptima de energía dentro del horno y realizar una planificación de tiempos de coladas más eficiente por parte del Departamento de Operaciones, ya que se puede determinar el sangrado metal basado en un criterio experimental y darle prioridad al momento de la colada al horno que este en mejores condiciones de material, verificando el porcentaje de Ni de las muestras tomadas del procedimiento con los valores estándar operacionales que están entre 20% y 24%.

También se obtiene por medio de los sondeos, el nivel del "*Build up*", metal que se asienta en el fondo del horno debido a que la temperatura interna en ese punto tiende a ser menor en operatividad normal y el metal no se encuentra ni líquido, ni sólido. El nivel de este metal, tiene que ser controlado ya que puede ocasionar daños en las paredes refractarias además de ser un indicio de problemas en el arco eléctrico de los electrodos. Obteniendo el nivel de carga por medio de los sondeos, por resta de alturas se puede determinar en nivel de la Sedimentación ya que la altura del horno no es variable. Y por último se realizan análisis químicos del material cuando se solidifica la cual queda enconchado en la barra luego de sacarla del baño.

Actualmente en la planta Loma de Níquel, este procedimiento de sondeo o monitoreo de niveles de carga, son realizados por dos operadores que introducen una barra de acero al carbono de 1/2" y 6 metros de largo dentro del horno, hasta que esta tiene contacto con la capa de "*Build up*" a una distancia de 4,5 metros de profundidad desde la bóveda del horno generalmente, teniendo en cuenta que el tiempo de inmersión debe estar entre 45 y 80 segundos máximo ya que de otra forma la lanza de medición se funde. Luego la extraen y debido a la alta temperatura a la que se encuentra el mineral, la barra al momento de salir de la bóveda del horno se encuentra totalmente deformada lo que complica el procedimiento y pone en alto riesgo de incidente a los operadores responsable de la actividad ya que se vuelve difícil de trasladar y peligroso por la temperatura que ha absorbido la barra mientras estaba en

contacto con el metal fundido. Luego se endereza con una serie golpes para poder medir la zona que estuvo sumergida.



**Fig. 2.4. Sondeos en los Hornos de Reducción de Loma de Níquel**

### 2.3. El Diseño

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces estas deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente el derecho a hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.

El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas y orales. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Estas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas.

Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las graficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto *funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar*, sin importar quien lo construya o lo use.

## 2.4. Metodología del Diseño

### - Establecimiento de la Necesidad

Es el punto de partida de cualquier proceso de diseño. Se puede definir la necesidad como la expresión de lo que un ser vivo requiere indispensablemente para su conservación y desarrollo; el trabajo de un diseñador es suplir estas necesidades de la mejor forma posible en la medida en la que las mismas vayan apareciendo.

### *2.4.1. Fase Divergente*

Es la fase que engloba la descripción del problema, el planteamiento del problema y el grupo inicial de métodos para la recolección de datos. Como resultado de la misma se espera tener un conocimiento amplio del problema, lo cual permitirá desarrollar una forma de pensamiento que abrirá las puertas a una gran variedad de ideas.

### - Descripción del Problema

Aquí se procede a la exploración del problema, la parte más importante de esta etapa es la selección de un modelo metodológico (modelo propio) que será la guía durante toda la investigación y ayudará a visualizar en qué momento se cumplirán los objetivos de la esta (definición de objetivos).

### - Planteamiento del Problema

En este nivel se tiene un conocimiento más amplio de lo que se quiere resolver y del entorno en el que se desarrollará el diseño; por lo tanto este planteamiento establece ciertas especificaciones y parámetros que hacen que un diseño sea aceptable.

### - Recolección de Datos

La finalidad de esta fase es la obtención de información, ya que es recomendable documentarse antes de pensar en cualquier tipo de solución. En esta etapa se realizará una investigación de campo, para obtener información que solo pueden brindar los expertos en el área (entrevistas).

Se debe tener en cuenta que un diseñador no trabaja únicamente para su propio beneficio, por lo que es importante conocer la aceptación y opinión de la población estudiada frente a distintos temas relacionados con el problema (encuestas).

#### ***2.4.2. Fase de Transferencia***

Esta fase engloba la búsqueda de principios de solución y la etapa creativa del diseño; en ella se espera generar y analizar un gran número de soluciones a partir de distintos métodos. Como resultado se espera obtener un número, sustancialmente grande, de soluciones capaces de satisfacer la necesidad planteada.

##### **- Búsqueda de Principios de Solución**

Esta etapa se puede dividir en dos grandes partes. En la primera se genera un gran número de soluciones provenientes de tormentas de ideas y la opinión de los expertos (entrevistas), posteriormente se procede a analizar y agrupar cada una de esas ideas por medio de distintos métodos (matriz de Pugh, matriz de interacción, vaciado de entrevistas), y a su vez se buscará la forma de adecuar las experiencias de otros entornos al ambiente donde se desarrollará el diseño.

##### **- Etapa Creativa**

Acá es donde se generan las ideas propias de los diseñadores, las cuales se basan en la experiencia adquirida antes y durante el proceso de diseño. La etapa creativa se mantiene en los límites del problema, límites derivados del análisis de la información y de los sub-problemas.

#### ***2.4.3. Fase Convergente***

Esta fase engloba el desarrollo en detalle y la comunicación de la solución. Como resultado se espera entregar una o un número reducido de soluciones que satisfagan los requerimientos del diseño.

##### **- Desarrollo en Detalle**

Llegada esta etapa se extraen las soluciones obtenidas anteriormente, las cuales son evaluadas por medio de los criterios de selección elaborados

anteriormente. Como resultado de la misma se obtendrá una o un número reducido de soluciones completamente descritas.

- Comunicación

Esta es la última etapa del proceso de diseño y en donde se darán a conocer detalladamente las soluciones obtenidas, de tal forma que puedan ser mostradas a aquellas personas que no estén familiarizadas con el proyecto.

### **2.5. Tormenta de Ideas**

Es una herramienta de trabajo grupal que facilita el surgimiento de nuevas ideas sobre un tema o problema determinado. La lluvia de ideas es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado.

La principal regla del método es aplazar el juicio, ya que en un principio toda idea es válida y ninguna debe ser rechazada. Habitualmente, en una reunión para resolución de problemas, muchas ideas tal vez aprovechables mueren precozmente ante una observación juiciosa sobre su inutilidad o carácter disparatado. De ese modo se impide que las ideas generen, por analogía, más ideas, y además se inhibe la creatividad de los participantes. En una tormenta de idea se busca tácticamente la cantidad sin pretensiones de calidad y se valora la originalidad. Cualquier persona del grupo puede aportar cualquier idea de cualquier índole, la cual crea conveniente para el caso tratado. Un análisis ulterior explota estratégicamente la validez cualitativa de lo producido con esta técnica.

Es un instrumento usado para obtener la información únicamente conocida por los usuarios sobre un producto o situación de forma abierta, siendo la idea principal de este método obtener aspectos de las actividades del usuario que pueden influir en el diseño que se está realizando. Jones (1982) propone un esquema para la realización de este instrumento:

- 1.** Identificar las situaciones del usuario adecuadas al escenario donde se desarrollara el diseño. Este escenario puede llegar a ser muy amplio, por lo cual se deben tomar las situaciones o aspectos más relevantes que intervienen de manera directa en el desarrollo del mismo.
- 2.** Identificar todas las personas que están relacionadas con la situación de diseño, seleccionando aquellas que puedan ofrecer información más detallada y de interés.

3. Estimular a los usuarios a describir y demostrar cualquier aspecto en la realización de sus actividades que puedan ser relevantes para el diseño. Esto puede realizarse con una lista de posibles preguntas que puedan conllevar al entrevistado a comentar aspectos de interés
4. Dirigir la conversación hacia los aspectos de la actividad del usuario que parezcan adecuados para la situación que se va a explorar. Para ello el entrevistado debe incitar al usuario a describir su trabajo o actividades dentro del área de estudio, de ser posible realizar una pequeña demostración, ya que el entrevistador puede obtener cierta información que el usuario omite y sea de relevancia para el diseño.
5. Registrar los descubrimientos circunstanciales y críticos durante la entrevista.
6. Obtener los comentarios del usuario sobre las conclusiones sacadas de la entrevista o algunos aspectos generales que quisiera resaltar.

Cabe destacar que la entrevista es un acto de comunicación oral entre dos o más personas, por lo que deben tomarse ciertas previsiones antes de la realización de la misma para obtener los resultados deseados, a continuación se presentan algunas sugerencias para la preparación de una entrevista:

1. Determinar el cargo que ocupa el futuro usuario y sus responsabilidades básicas.
2. Preparar las preguntas que van a plantearse y los documentos necesarios.
3. Fijar un límite de tiempo y preparar la agenda para la entrevista.
4. Elegir un lugar donde pueda conducirse la entrevista con mayor comodidad.
5. Hacer una cita con la debida anticipación.



Luego de la realización de la entrevista es recomendable escribir los resultados para su posterior análisis.

## **2.6. Máquinas de Elevación de Transporte**

### **2.6.1. Poleas**

Dispositivo mecánico de tracción o elevación, formado por una rueda (también denominada roldana) montada en un eje, con una cuerda que rodea la circunferencia de la rueda. Tanto la polea como la rueda y el eje pueden considerarse máquinas simples que constituyen casos especiales de la palanca. Una polea fija no proporciona ninguna ventaja mecánica, es decir, ninguna ganancia en la transmisión de la fuerza sólo cambia la dirección o el sentido de la fuerza aplicada a través de la cuerda. Sin embargo, con un sistema de poleas móviles (también llamado polipasto) sí es posible obtener una ganancia mecánica, que matemáticamente se define como el cociente entre la fuerza de salida y la fuerza de entrada. El rozamiento reduce la ganancia mecánica real, y suele limitar a cuatro el número total de poleas.

#### **2.6.1.1. Clases de poleas**

- Polea fija: Esta polea esta fija a la viga, una polea fija simple es de hecho una palanca de primera clase con brazos iguales. Sirve únicamente para cambiar la dirección o el sentido de la fuerza, la carga solo es soportada por un segmento de la cuerda.

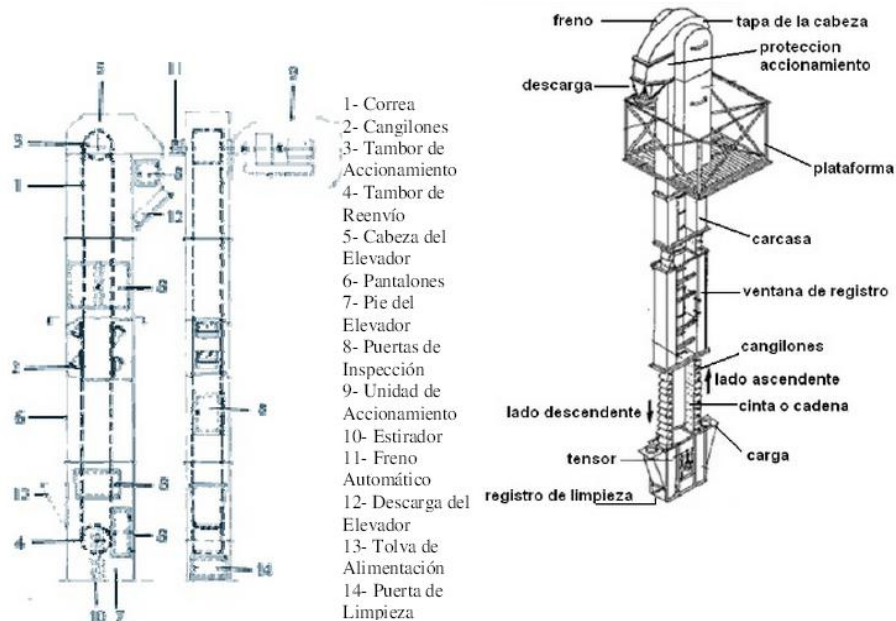
- Polea móvil: esta polea esta unida al objeto y no a la viga, una polea móvil siempre es una palanca de segunda clase, que multiplica la fuerza ejercida, la carga es soportada por ambos segmentos de cuerda, porque solo hace falta una fuerza igual a la mitad del peso para levantar la carga. Sin embargo hay que tirar de la cuerda a una mayor distancia.

### **2.6.2. Puente-Grúa**

Un puente-grúa es un tipo de grúa que se utiliza en fábricas e industrias, para izar y desplazar cargas pesadas, permitiendo que se puedan movilizar piezas de gran porte en forma horizontal y vertical. Un puente-grúa se compone de un par de rieles paralelos ubicados a gran altura sobre los laterales del edificio con un puente metálico (viga) desplazable que cubre el espacio entre ellas. El guinche, el dispositivo de izaje de la grúa se desplaza junto con el puente sobre el cual se encuentra. El guinche a su vez se encuentra alojado sobre otro riel que le permite moverse para ubicarse en posiciones entre los dos rieles principales.

### **2.6.3. Elevador de Cangilones**

Los elevadores de correa a cangilones son los equipos más comunes y económicos para el movimiento vertical de materiales a granel. Los cangilones son los recipientes que contienen el material, tomándolo en la parte inferior del sistema y volcándolo a la parte superior. Para este cometido debe tener una configuración adecuada. Los cangilones van montados sobre la correa que es la que trasmite el movimiento del tambor de accionamiento y la que debe absorber el esfuerzo provocados por esta transmisión además del peso específico del material elevado y el peso de los cangilones. Las correas utilizadas deben poseer una gran resistencia transversal para garantizar la sujeción de los bulones del cangilón. Las mismas deben ser seleccionadas en función del cálculo de acuerdo a las características de cada elevador.



**Fig. 2.5. Elevador de Cangilones (fuente: UNT-Facultad Regional Resistencia 2009)**

## 2.7. Sensores de Radar

El sistema de antena del sensor radar emite pulsos de microonda extremadamente cortos, que se reflejan en la superficie del producto y vuelven al sistema de antena. El tiempo transcurrido desde la emisión de los pulsos de microonda hasta la recepción es proporcional al nivel en el depósito. Un proceso especial de expansión temporal permite una medición precisa y segura en tiempos cortos.

Los sensores radar trabajan en las gamas de frecuencia de banda K y C. Los compactos sensores de alta frecuencia en banda K son especialmente adecuados para las aplicaciones en las que es necesaria una precisión elevada. Pueden aplicarse de forma universal, desde depósitos hasta complejos reactores. Actualmente, los sensores de baja frecuencia en banda C se utilizan principalmente en aplicaciones complicadas. Gracias a su baja frecuencia de emisión pueden atravesar mejor la fuerte generación de espuma, adherencias extremas y condensados.

**2.8. Estudio de Fuerzas para una Cadena Transportadora**

El cálculo de la fuerza de tracción necesaria para el trabajo efectivo de una cadena transportadora es difícil de realizar mecánicamente y es por eso que se recurre a formulas empíricas.

*El Departamento de Ingeniería Mecánica de La Universidad de Castilla-La Mancha nos menciona que la tracción en el transportador  $T_t$  es aquella que deberá realizar las cadenas en todo su trayecto.*

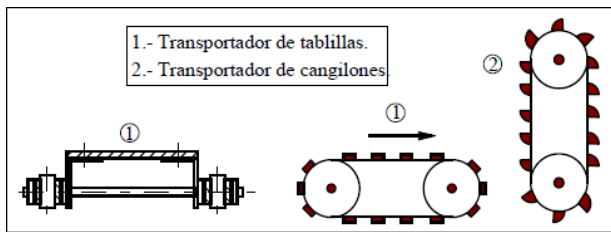


Fig. 2.6. Transportadores (fuente: UCLM-Departamento de Ing. Mecánica 2009)

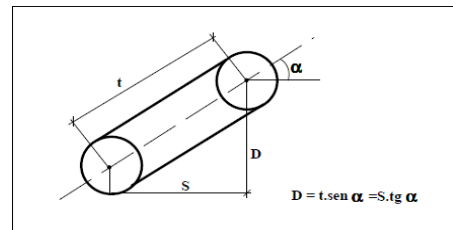


Fig. 2.7. Transportador (fuente: UCLM-Departamento de Ing. Mecánica 2009)

**Fuerza de Tracción Máxima (Transportador de Cangilones)**

$$T_t = D * ( P_c + N ) \quad (\text{Ec 2.1})$$

Donde,

$T_t$ : Fuerza de Tracción Máxima [kg]

$N$ : Carga por metro de Cadena [kg/m]

$P_c$ : Peso de la Cadena [kg/m]

**Cálculo de Carga por metro de Cadena**

$$N = \frac{\Sigma P}{Lc} \quad (\text{Ec 2.2})$$

Donde,

$Lc$  : Longitud de Cadena [m]

$Pe$ : Peso del Carro [kg]

$Pb$ : Peso Barra de Medición [kg]

$Pes$ : Peso Escoria Enconchada [kg]

**Desnivel entre Ejes**

$$D = t * \text{sen} \alpha \quad (\text{Ec 2.3})$$

Donde,

*t* : Distancia entre Centros [m]

*S*: Proyección Horizontal de *t* [m]

*D*: Deseñel entre Ejes en [m]

**Fuerza de Tracción Real**

$$T_r = C_1 * C_2 * T_t \quad (\text{Ec 2.4})$$

Donde,

*P<sub>c</sub>*: Peso de la Cadena [kg/m]

*Q<sub>t</sub>*: Carga Total a Transportar

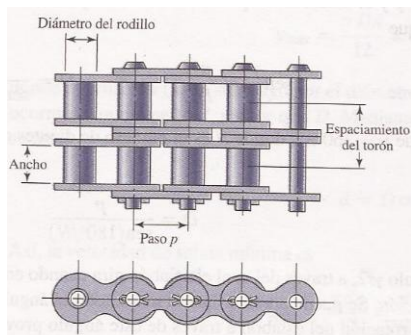
*C<sub>1</sub>*: Coeficiente Corrector debido a Condiciones de Trabajo y Mantenimiento

*C<sub>2</sub>*: Coeficiente Corrector por Tiempo

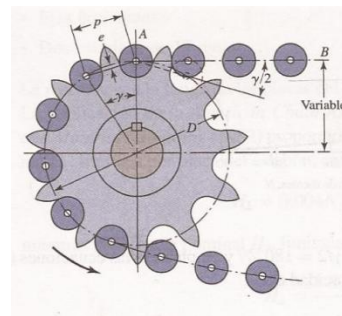
**2.9. Cadenas de Rodillos**

Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento o el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar otros ejes a partir de una sola fuente de potencia.

La ANSI estandarizó las cadenas de rodillos con respecto a sus tamaños. En la Figura 2.8 se muestra la nomenclatura. El paso es la distancia lineal entre los centros de los rodillos. El ancho es el espacio entre las placas de eslabón interiores. Estas cadenas se fabrican con torón sencillo, doble, triples y cuádruples.



**Fig. 2.8. Parte de una Cadena de Rodillos Doble Torón**  
(fuente: *Diseño en Ingeniería Mecánica. Shigley 2008*)



**Fig. 2.9. Acoplamiento de una Cadena en una Catarina**  
(fuente: *Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008*)

En la Figura 2.9 se muestra una catarina que impulsa una cadena y que gira en el sentido contrario a las manecillas del reloj. Al designar el paso de la cadena por  $p$ , el ángulo de paso por  $\gamma$  y el diámetro de paso de la Catarina por  $D$ , de la trigonometría de la Figura se desprende que,

$$\text{Sen } \frac{\gamma}{2} = \frac{\frac{p}{2}}{\frac{D}{2}} \quad \text{o} \quad D = \frac{p}{\text{sen} \left( \frac{\gamma}{2} \right)} \quad \text{(Ec 2.5)}$$

Donde;  $\gamma = \frac{360^\circ}{Nc}$

$D$  : Diámetro Primitivo [mm]

$P$ : Paso de la Cadena [mm]

$N_c$ : Nr de Dientes de la Rueda Dentada

Debido a que  $\gamma = 360^\circ / N$ , donde  $N$  es el número de dientes de la catarina, la ecuación se escribe

$$D = \frac{p}{\text{sen} \left( \frac{180}{N_c} \right)} \quad (\text{Ec 2.6})$$

El ángulo  $\gamma/2$ , a través del cual el eslabón gira cuando entra en contacto, se llama *ángulo de articulación*. Se puede apreciar que la magnitud del ángulo es en función del número de dientes. La rotación del eslabón a través de este ángulo provoca impacto entre rodillos y los dientes de la catarina, así como desgaste en la junta de la cadena.

La velocidad  $V$  de la cadena se define como el número de pies que sale de la catarina en una unidad de tiempo. De esta manera, la velocidad de la cadena en pies por minuto es,

$$V_c = \frac{N_c p n}{12} \quad (\text{Ec 2.7})$$

Donde,

$N_c$  = Número de dientes de la catarina

$p$  = Paso de la cadena [pulg]

$n$  = Velocidad de la catarina [rpm]

## 2.10. Reacciones y Momentos Flectores en Vigas

### 2.10.1. Apoyos Simples, Carga Intermedia

#### Reacciones

$$R_A = \frac{Fb}{l} ; R_B = \frac{Fa}{l} \quad (\text{Ec 2.8})$$

Donde;

$R_A$  y  $R_B$ : Reacciones de los Soportes

$F$ : Fuerza Aplicada en la viga

$$V_{AB} = R_A$$

$$V_{BC} = R_B$$

#### Momento

$$M_{AB} = \frac{Fbx}{l} ; M_{BC} = \frac{Fb}{l}(l - x) \quad (\text{Ec 2.9})$$

$M_{AB}$  y  $M_{BC}$ : Momentos Flectores en las Secciones AB y BC

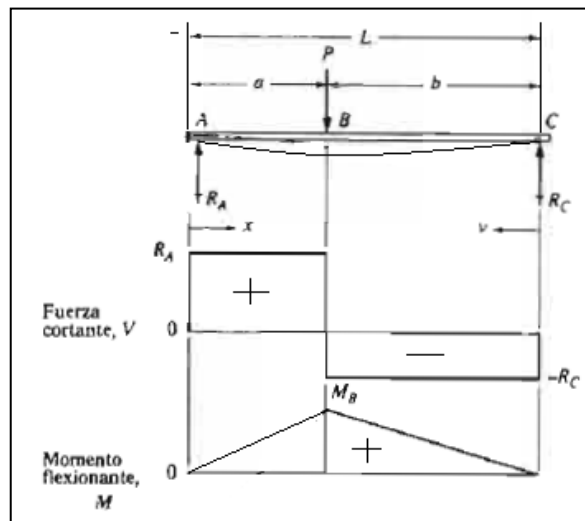


Fig. 2.10. Cortante, Momento y Deflexión de Vigas (fuente: Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006)



### 2.11. Fatiga de Materiales

Se entiende por fatiga de un componente mecánico a su fallo originado por una sollicitación variable con el tiempo. Dicha sollicitación es relativamente baja, de forma que no se alcanzan las tensiones de rotura del material en ninguno de los ciclos de carga. Sin embargo, el efecto repetitivo de la sollicitación aplicada da lugar al fallo del componente aunque las tensiones nominales alcanzadas en servicio no sean elevadas.

Este fenómeno es definido de un modo más general por la norma ASTM como: “*el proceso de cambio estructural permanente, progresivo y localizado que ocurre en un punto del material sujeto a tensiones y deformaciones de amplitudes variables y que produce grietas que conducen a una fractura total luego de un cierto número de ciclos*” (ASTM-1979).

#### Límite de Resistencia a la Fatiga

(Shigley-2008), nos proporciona un método para estimar los límites de resistencia a la fatiga. Observe que las estimaciones que se obtuvieron a partir de las cantidades de datos provenientes de muchas fuentes, probablemente tendrán una amplia dispersión y podrían desviarse de manera significativa los resultados de ensayos de laboratorio reales acerca de la propiedades mecánicas de muestras obtenidas con especificaciones estrictas.

Como el área de incertidumbre es muy grande, debe realizarse una compensación mediante el empleo de factores de diseño más grandes que podrían usarse para el diseño estático.

En el caso de los aceros, al simplificar la observación en el (Anexo "B"-B1), se estimara el límite de resistencia a la fatiga como

$$S'e = \begin{cases} 0,5*S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} (1400 \text{ Mpa}) \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ Mpa} \end{cases} \quad (\text{Ec 2.10})$$

Donde  $S_{ut}$  es la *resistencia a la tensión mínima*. El símbolo de prima  $S'_e$  en esta ecuación se refiere a la propia *muestra de viga rotativa*. Se reserva el símbolo sin prima  $S_e$  para el límite de resistencia de un elemento de máquina particular sujeto a cualquier tipo de carga.

### Factores que Modifican el Límite de Resistencia a la fatiga

Según (Shigley-2008), *Marín* identificó factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, el tamaño, la carga, la temperatura y otros puntos. La cuestión respecto de ajustar el límite de resistencia a la fatiga por medio de correcciones sustractivas o multiplicativas se resolvió mediante un extenso análisis estadístico del Acero 4340 en que se determinó un coeficiente de correlación de 0,85 para la forma multiplicativa, 0,40 para la forma aditiva. Por lo tanto, la ecuación de *Marín* se escribe.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f * S'_e \quad (\text{Ec 2.11})$$

Donde,

$K_a$  = Factor de modificación de la condición superficial,  $k_a = a * S_{ut}^b$  (Anexo "A"-A1)

$$K_b = \text{Factor de modificación del tamaño, } \begin{cases} 1,24d^{-0,107} & 2,79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1,51d^{-0,157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$K_c$  = Factor de modificación de carga

$K_d$  = Factor de modificación de la temperatura

$K_e$  = Factor de confiabilidad

$K_f$  = Factor de modificación de efectos varios

$S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria, de la Ec 2.10

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.

Cuando no se dispone de ensayos de resistencia a la fatiga de partes, las estimaciones se hacen aplicando los factores de *Marín* al límite de resistencia a la fatiga. (Shigley-2008)

Si en el plano  $XZ$  no se encuentran fuerzas ni momentos aparentes, entonces ya que el eje estará en presencia de flexión y torsión constantes, sabemos que  $Mm = Ta = 0$ .

*Teoría de Corte de Goodman Modificado*

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot n_3}{\pi} \left( \frac{2 \cdot (k_f \cdot M_a)}{S_e} + \frac{[3 \cdot (k_{fs} \cdot T_m)^2]^{1/2}}{S_{ut}} \right) \right\}^{1/3} \quad (\text{Ec 2.13})$$

Donde;

$d$ : Diámetro del Eje [m]

$n_3$ : Factor de Seguridad

$M_a$ : Momento Flexionante [N.m]

$T_m$ : Torque [N.m]

$k_f$ : Concentrador de Esfuerzo

$k_{fs}$ : Concentrador de Esfuerzo

### 2.12. Análisis de Esfuerzos Cortantes en Ejes Macizos

De la distribución de esfuerzos de un eje macizo se tiene que, (Robert Mott-4ta Ed)

#### *Esfuerzo Torsional Cortante Máximo*

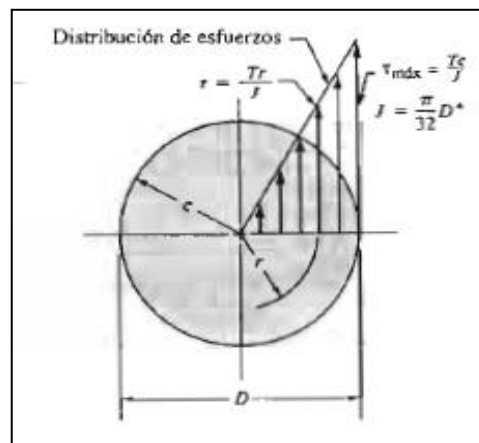
$$\tau_{max} = \frac{Tc}{J} \quad (\text{Ec 2.14})$$

Donde;

$T$ : Par de Torsión [N.m]

$c$ : Radio del Eje [m]

$J$ : Momento Polar de Inercia [mm<sup>4</sup>]



**Fig. 2.11. Distribución de Esfuerzo en un Eje Macizo (fuente: Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006)**

### 2.13. Cuñas

Las cuñas y los pasadores (Shigley-2008) se utilizan sobre ejes para fijar elementos rotatorios, como engranajes, poleas o ruedas. Las cuñas se emplean para permitir la transmisión del par de torsión del eje al elemento que soporta. Los pasadores se usan para posicionar axialmente y para transmitir el par de torsión o empuje, o ambos.

Cuando las fuerzas relativas no son grandes, se emplea una cuña redonda o una cuña plana. Para trabajo pesado son más adecuadas las cuñas rectangulares

#### 2.13.1. Tipos de Chavetas o Cuñas

##### **Cuñas Paralelas cuadradas y rectangulares**

Es el tipo más común de las cuñas para ejes de hasta 6<sup>1/2</sup>" de diámetro, es la cuña cuadrada.

La cuña rectangular se sugiere para ejes largos y se utiliza en ejes cortos donde puede tolerarse una menor altura, tanto la cuña cuadrada como la rectangular se denominan cuñas paralelas, porque la parte superior, la inferior y los lados de la cuña, son todos paralelos. El ancho de la cuña es cuadrada es plana y es generalmente una cuarta parte del diámetro del eje.

Existen normas ASME y ASA para los dimensionamientos de la cuña y de la ranura.

##### **Materiales de Fabricación de Cuñas**

Las cuñas se fabrican en su mayoría de acero extruido en frío a bajo carbono.

Si el acero a bajo carbón no es lo suficientemente resistente, puede emplearse acero con un contenido más alto de carbón, también del tipo extruido en frío. Los aceros a los que se le da tratamiento técnico pueden utilizarse para obtener una resistencia mayor. No obstante el material debe conservar una buena ductilidad como lo indica un valor de elongación porcentual del 10% aproximadamente, en particular cuando es probable que se presenten cargas de impacto.

Pilkey proporciona los valores de las concentraciones de esfuerzo en un cuñero fresado, como una función de la relación del radio  $r$  en el fondo de la ranura y el diámetro  $d$  del eje. Para filetes cortados con fresas mecánicas, con una relación de  $r/d = 0,02$ , las graficas de Peterson dan un  $k_t = 2,14$  para flexión y  $k_{ts} = 2,62$  para torsión sin la cuña en su lugar, o  $k_{ts} = 3$  para la torsión con la cuña en su lugar.

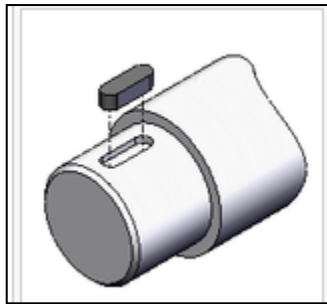


Fig. 2.12. Esquema de una cuña de caras paralelas

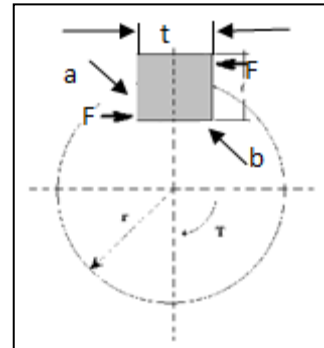


Fig. 2.13. Distribución de fuerzas en una chaveta sobre un eje

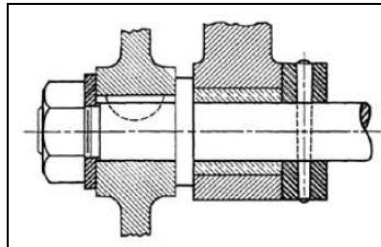


Fig. 2.14. Esquema de una cuña Woodruff

A partir de la Figura 2.13, (Shigley-2008) la fuerza  $F$  en la superficie del eje es

$$F = \frac{T}{r} \quad (\text{Ec 2.15})$$

Y mediante la teoría de la energía de distorsión, la resistencia al cortante es

**Resistencia al Esfuerzo Cortante**

$$S_{sy} = 0,577 * S_y \quad (\text{Ec 2.16})$$

La falla al cortante a lo largo del área  $ab$ , crea un esfuerzo de  $\tau = \frac{F}{wl}$  sustituyendo  $\tau$  por la resistencia dividida entre el factor de seguridad, se tiene.

Tomando un factor de seguridad  $n_4 = 2,5$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{wl} \quad (\text{Ec 2.17})$$

## 2.14. Vida de los Rodamiento

### 2.14.1. Efecto Carga-Vida del Rodamiento

Luego de realizar numerosas pruebas a grupos de cojinetes nominalmente iguales, el criterio de vida-falla a cargas diferentes, los datos se representaron en graficas (Anexo "B"-B2), donde mediante a una transformación Log-Log se logra establecer un punto individual, la carga  $F_1$  y la Vida Nominal  $L_{10}$ . La función del efecto carga-vida a una confiabilidad del 0,90 (Shigley-2008) queda expresada en la ecuación a continuación.

#### *Función Efecto Carga-Vida*

$$(F * L)^{\frac{1}{a}} = Constante \quad (Ec 2.18)$$

#### *Mediante las pruebas;*

$a = 3$  para Rodamientos de Bolas

$a = 10/3$  para Rodamientos de Rodillos (rodillo cilíndrico y cónico)

La compañía SKF califica sus rodamientos para  $10^6$  revoluciones, por lo tanto  $L_{10}$  es  $60 * L_R * n_R = 10^6$  revoluciones.

De la Ec 2.18 se tiene que,

$$(F_1 * L_1)^{\frac{1}{a}} = (F_2 * L_2)^{\frac{1}{a}} \quad (Ec 2.19)$$

Y la carga asociada  $F_1$  con  $C_{10}$  la medida de la vida  $L_1$  con  $L_{10}$

$$(C_{10} * L_{10})^{\frac{1}{a}} = (F * L)^{\frac{1}{a}}$$

Donde las unidades de  $L$  son en revoluciones

Además se puede escribir



***Iguando las Ecuaciones***

$$C_{10} * (L_R * n_R * 60)^{1/a} = P * (L_D * n_D * 60)^{1/a} \quad \text{(Ec 2.20)}$$

*Donde;*

$n_D$ : Frecuencia de Giro Deseada [rpm]

$P$ : Carga Dinámica Equivalente [kN]

$L_D$ : Vida Nominal Deseada [h]

$C_{10}$ : Capacidad de Carga Dinámica [kN]

$C_0$ : Capacidad de Carga Estática [kN]

$C_{10R}$ : Capacidad de Carga Dinámica Requerida [kN]

### 2.15. Rodadura

La resistencia a la rodadura aparece cuando el cuerpo que rueda, o la superficie sobre la que rueda, o ambos a la vez, se deforman. Aunque sólo sea ligeramente, a causa de las grandes presiones existentes en los puntos de contacto. Al rodar un cuerpo real sobre una superficie real, se producen unas deformaciones, de modo que el cuerpo tiene que "vencer" continuamente un pequeño obstáculo que se le presenta por delante y que se opone a su rodadura.

#### 2.15.1. Cuerpos deformables (reales)

En las situaciones reales, los cuerpos se deforman por muy poco que sea. El contacto no se realiza entonces a lo largo de una generatriz sino a lo largo de una estrecha banda A'A" Figura 2.15, ello da lugar a que aparezcan reacciones en los apoyos, reacciones que dan lugar a la aparición de un par que se opone a la rodadura. Con la finalidad de simplificar el problema, podemos imaginar que en cada instante el cilindro debe rotar sobre la generatriz que pasa por A" para poder rodar superando el pequeño obstáculo que se opone a ello. Eso equivale a considerar desplazada la línea de acción de la reacción normal N una distancia que designaremos por  $\mu_r$ . Figura 2.15.

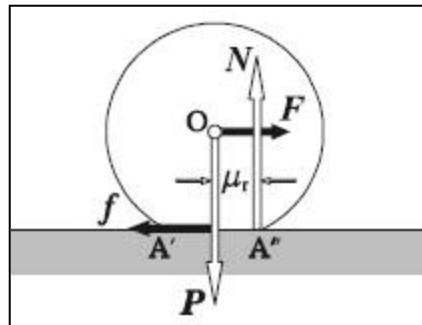


Fig. 2.15. Rodadura de un Cilindro Indeflexible sobre una Superficie Deformable (fuente: *Physics for scientists and Enginner, Serway R. 2004*)

El par de resistencia a la rodadura y el par aplicado se definen respectivamente de la siguiente manera.

***Momento de Resistencia a la Rodadura***

$$M_{res} = \mu_r * R \quad (\text{Ec 2.21})$$

***Momento Aplicado***

$$M_{apli} = R * f \quad (\text{Ec 2.22})$$

En las condiciones críticas, cuando comienza la rodadura, esos el par aplicado o de arranque será mayor que el par resistente, de modo que

$$M_{arranque} \geq M_{res} \quad (\text{Ec 2.23})$$

Por lo que  $R * f \geq \mu * N$

De modo que el cilindro comenzara a rodar si

***Fuerza Mínima para Vencer la Resistencia a la Rodadura***

$$F \geq \frac{\mu_r * N}{R} = C_{rr} * N \quad (\text{Ec 2.24})$$

Que nos refleja el valor de la fuerza mínima necesaria para el arranque

***2.15.2. Coeficientes***

La magnitud  $\mu_r$ , que tiene dimensiones de una longitud, es el llamado coeficiente de resistencia a la rodadura. De las expresiones anteriores se deduce que el par de arranque es proporcional a la reacción normal  $N$  y que la fuerza de tracción necesaria para el arranque es inversamente proporcional al radio del cilindro, esa es la ventaja de las ruedas grandes sobre las pequeñas. El valor del coeficiente  $\mu_r$

depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto (fundamentalmente de su rigidez).

La magnitud a dimensional

#### **Coefficiente de Rodadura**

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{R} \quad (\text{Ec 2.25})$$

Es el llamado, *coeficiente de rodadura*

El coeficiente de rodadura tiene un valor muy inferior al de los coeficientes de rozamiento por deslizamiento (estático y cinético), así pues, es mucho más conveniente, al efecto de disminuir las pérdidas energéticas, sustituir en los mecanismos y máquinas los deslizamientos por las rodaduras, esa es la ventaja que aportó el invento de la rueda.

El valor del coeficiente de rodadura es característico de cada sistema, dependiendo de:

- La rigidez o dureza de la rueda y superficie,
- El radio de la rueda (a mayor radio menor resistencia)
- El peso o carga al que se somete cada rueda (en esto se diferencia del coeficiente de rozamiento),
- En el caso de ruedas neumáticas o hidráulicas, depende de su presión (a mayor presión menor resistencia),
- Temperatura y el acabado de las superficies, entre otras.

## 2.16. Pandeo en Columnas

Los miembros largos sometidos a una fuerza de compresión axial, se le llaman Columnas, y la deflexión lateral que sufren, se llama Pandeo. Con suma frecuencia el pandeo de una columna puede conducir a una repentina y dramática falla de una estructura o mecanismo y, por tanto, debe presentarse una especial atención al diseño de columnas, de modo que sean capaces de soportar con seguridad sus cargas sin pandearse.

La carga axial máxima que una columna puede soportar cuando está a punto de pandearse se llama carga crítica  $P_{cr}$ , cualquier carga adicional ocasionará que la columna pandee y, por consiguiente se flexione lateralmente.

### 2.16.1. Fijación de un Extremo y Longitud Efectiva

El termino fijación de un extremo se refiere (Shigley-2008) a la forma en que se soportan los extremos de una columna. La variable más importante, es la cantidad de restricción a la tendencia de rotación que existe en los extremos de la columna. Articulada, empotrada y libre, tres formas de restricción de extremos.

Un extremo articulado de una columna, esta guiado de una forma que no puede mover de un lado a otro, pero no ofrece resistencia a la rotación del extremo. La mejor aproximación de un extremo articulado, sería un apoyo de rotula sin fricción.

Un extremo empotrado es aquel que se sujeta contra la rotación en el soporte. Un ejemplo es el de una columna cilíndrica introducida en una camisa de fijación, que este empotrada. Un extremo de columna soldado fijamente a una placa de base rígida es también una buena aproximación de una columna de extremo empotrado.

El extremo libre se puede ilustrar con el ejemplo de un asta de bandera, no tiene restricción y no esta guiado. Es el peor caso de carga de columna.

La forma de soportar ambos extremos de la columna, afecta la longitud efectiva de la columna que se define como.

$$L_e = kL \quad (\text{Ec 2.26})$$

Donde,

$L$ : Longitud Real de la Columna

$k$ : Constante que Depende del Extremo Fijo

### 2.16.2. Columnas Largas con Cargas Centradas

Si la fuerza  $P$  actúa a lo largo del eje centroidal de la columna, ocurre compresión simple del miembro para valores bajos de la fuerza. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, cuando  $P$  alcanza valores específicos, la columna adquiere inestabilidad y se desarrolla rápidamente una flexión. Esta fuerza (Shigley-2008) se determina al escribir la ecuación de deformación por flexión de la columna, la cual resulta para la fuerza crítica,

#### Fórmula de Euler para Columnas

$$P_{cr} = \frac{C\pi^2 EI}{l^2} \quad (\text{Ec 2.27})$$

Donde la constante  $C$ , depende del empotramiento de los extremos, Figura 2.16.

Mediante la relación  $I = Ak^2$ , donde  $A$  es el área y  $k$  el radio de giro, es posible reacomodar la ecuación Ec 2.27 en la forma más conveniente.

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C\pi^2 E}{(l/k)^2} \quad (\text{Ec 2.28})$$

Donde  $l/k$  se le llama relación de esbeltez y  $P_{cr}/A$  es la carga por unidad de área.

La mayoría de los diseñadores seleccionan el punto  $T$  (Anexo "B"-B3) de modo que  $P_{cr}/A = S_y/2$ . Usando la Ec 2.28 se tiene que

$$\frac{l}{k} = \left( \frac{2\pi^2 CE}{S_y} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec 2.29})$$

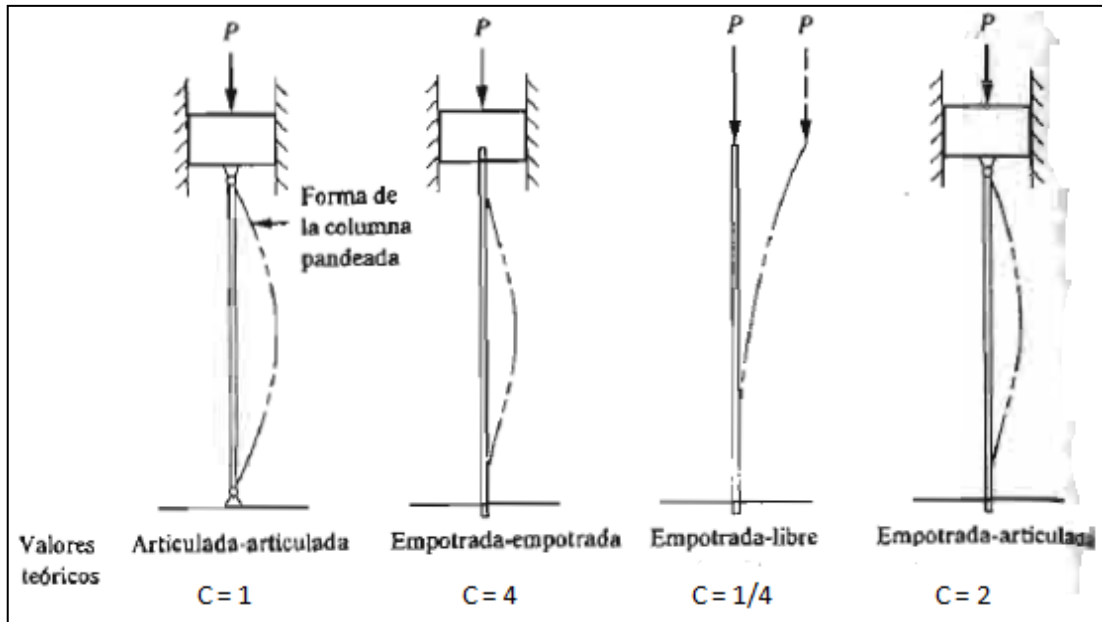


Fig. 2.16. Valores la constante  $C$  dependiendo de la Fijación

(fuente: *Diseño de Elementos de Máquinas. Mott R. 2006*)

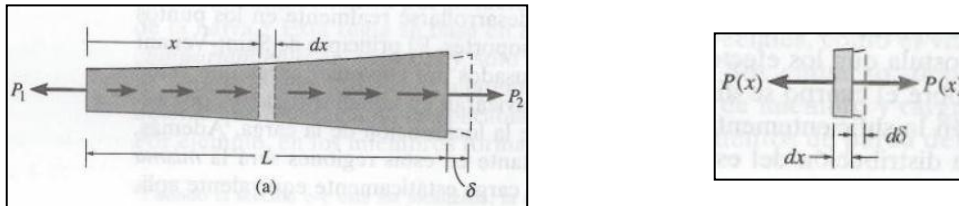
### 2.17. Deformación Elástica de un Miembro Cargado Axialmente

R.C. Hibbeler, 2006. De la ley de Hooke y las definiciones de esfuerzo y deformación unitaria, se desarrollo una ecuación para determinar la deformación elástica de un miembro sometido a Cargas Axiales. Queremos determinar el *desplazamiento relativo*  $\delta$  de un extremo de la barra respecto a otro causado por una carga. En su mayor parte, la barra se deformará uniformemente, por lo que el esfuerzo estará distribuido uniforme sobre la sección transversal.

Usando el método de las secciones, un elemento diferencial de longitud  $dx$  y área  $A(x)$  es aislado de la barra en posición arbitraria  $x$ . El diagrama de cuerpo libre se muestra en la Figura 2.17. La fuerza axial interna resultante, se representa por  $P(x)$ , puesto que la carga externa hará que varíe a lo largo de la longitud de la barra. Esta carga,  $P(x)$ , deformará el elemento en la forma indicada por el perfil punteado y por

consiguiente, el desplazamiento de un extremo del elemento con respecto a otro será  $d\delta$ . El esfuerzo y deformación unitaria del elemento son:

$$\sigma = \frac{P(x)}{A(x)} \quad (\text{Ec 2.30}) \quad \text{y} \quad \epsilon = \frac{d\delta}{dx} \quad (\text{Ec 2.31})$$



**Fig. 2.17. Diagrama de Cuerpo Libre y Diferencial de Alargamiento**

Si estas cantidades no exceden el límite proporcional, podemos relacionarlas por la ley de Hooke, es decir,

$$\sigma = E\epsilon$$

Para una longitud  $L$  de la barra

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad (\text{Ec 2.31})$$

Donde,

$\delta$ : Desplazamiento de un punto de la barra relativo a otro punto

$L$ : Distancia entre los puntos

$P$ : Fuerza axial interna en la sección

$A$ : Área de la sección transversal de la barra

$E$ : Módulo de Elasticidad del material

En muchos casos la barra tendrá un área  $A$  transversal constante y el material será homogéneo, por lo que  $E$  será constante. Además, si una fuerza externa constante se aplica a cada extremo, Figura 2.17, entonces la fuerza  $F_{im}$  a lo largo de la barra será también constante.



### 2.18. Oxicorte

El oxicorte es una técnica auxiliar a la soldadura, que se utiliza para la preparación de los bordes de las piezas a soldar cuando son de espesor considerable, y para realizar el corte de chapas, barras de acero al carbono de baja aleación u otros elementos ferrosos.

El oxicorte consta de dos etapas: En la primera, el acero se calienta a alta temperatura hasta unos 900 °C con la llama producida por el oxígeno y un gas combustible. En la segunda, una corriente de oxígeno corta el metal y elimina los óxidos de hierro producidos.

En este proceso se utiliza un gas combustible cualquiera (acetileno, hidrógeno, propano, etc.), cuyo efecto es producir una llama para calentar el material, mientras que como gas comburente siempre ha de utilizarse oxígeno a fin de causar la oxidación necesaria para el proceso de corte.

Bien sea en una única cabeza o por separado, todo soplete de oxicorte requiere de dos conductos: uno por el que circule el gas de la llama (acetileno u otro) y uno para el corte (oxígeno). El soplete de oxicorte calienta el acero con su llama carburante, y a la apertura de la válvula de oxígeno provoca una reacción con el hierro de la zona afectada que lo transforma en óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), que se derrite en forma de chispas al ser su temperatura de fusión inferior a la del acero.



Fig. 2.18.- Soplete de Oxicorte (fuente: Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo España. 2010)

Además de las dos botellas móviles que contienen el combustible y el comburente, los elementos principales que intervienen en el proceso de oxicorte son los manorreductores, el soplete, las válvulas antirretorno y las mangueras.

La función de los manorreductores es desarrollar la transformación de la presión de la botella de gas (150 atm) a la presión de trabajo (de 0,1 a 10 atm) de una forma constante. Están situados entre las botellas y los sopletes.

El soplete es el elemento de la instalación que efectúa la mezcla de gases. Las partes principales del soplete son las dos conexiones con las mangueras, dos llaves de regulación, el inyector, la cámara de mezcla y la boquilla.

Las válvulas antirretorno son dispositivos de seguridad instalados en las conducciones y que sólo permiten el paso de gas en un sentido. Están formadas por una envolvente, un cuerpo metálico, una válvula de retención y una válvula de seguridad contra sobrepresiones.

Las mangueras o conducciones sirven para conducir los gases desde las botellas hasta el soplete.

### 2.19. Aceros Estructural

La mayor parte de los aceros estructurales reciben la designación de los números ASTM. Un grado frecuente, es el A36 (Ver Anexo "A" - A2), que tiene un punto de fluencia mínimo de 248 Mpa (36000 psi) y es muy dúctil. En resumen es un acero con bajo carbón y laminado en caliente, disponible en placas, láminas, barras y perfiles estructurales como por ejemplo, algunas perfiles U, perfiles H, vigas I y ángulos. (Ver Anexo "A" -A3, A4), podemos apreciar algunas propiedades geométricas de estos perfiles.

Las vigas de patín ancho Perfil W, se fabrican en la actualidad, con acero estructural ASTM 992, cuyo punto de fluencia es de 345 a 448 Mpa (50 a 65 kpsi), con resistencia mínima a la tensión de 448 Mpa (65 kpsi). Una especificación adicional es que la relación máxima del punto de fluencia y a resistencia a la tensión sea 0,85. Es un acero muy dúctil, que tiene un alargamiento mínimo de 21 % en 2" de longitud calibrada. Al usar este acero en lugar del ASTM A36, de menor resistencia, se pueden emplear miembros estructurales más ligeros, a un costo adicional mínimo o sin costo alguno.

Los perfiles estructurales huecos se fabrican con acero ASTM A500, que se forma en frío y se suelda, o está sin costura. Están comprendidos los rubos redondos y cuadrados, así como los perfiles rectangulares. Algunos productos HSS se fabrican con acero ASTM A501 moldeado en caliente cuyas propiedades son parecidas a las de los perfiles de acero ASTM A36 laminado en caliente.

Muchos de los grados de acero estructural con mayor resistencia se emplean para la construcción de vehículos y máquinas. Tienen puntos de fluencia en el orden de 290 y 700 Mpa (42000 y 100000 psi). Algunos de esos grados que se llaman *aceros de alta resistencia y baja aleación*, son ASTM A242, A440, A414 y A588.

### 2.20. Soldadura Eléctrica

La soldadura es un proceso de unión de materiales en el cual se funden las superficies de contacto de dos o más partes mediante la aplicación conveniente de calor o presión.

En algunos casos se agrega un material de aporte o relleno para facilitar la fusión.

#### *Ventajas:*

- La soldadura proporciona una unión permanente. Las partes soldadas se vuelven una sola unidad.
- La unión soldada puede ser más fuerte que los materiales originales, si se usa un metal de relleno que tenga propiedades de resistencia superiores a la de los materiales originales y se emplean las técnicas de soldadura adecuadas.
- En general, la soldadura es la forma más económica de unir componentes,
- La soldadura no se limita al ambiente de fábrica. Puede realizarse en el campo.

#### *Limitaciones y desventajas (o desventajas potenciales):*

- La mayoría de las operaciones de soldadura se realizan en forma manual y son elevadas en términos de costo de mano de obra.
- Implican el uso de mucha energía, y por consiguiente son peligrosos.
- Dado que la soldadura obtiene una unión permanente entre los componentes, no permite un desensamble adecuado. Si se requiere un desensamble ocasional de producto (para reparación o mantenimiento), no debe usarse la soldadura como método de ensamble.

La A.W.S. y la A.S.M.E. (Sociedad Americana de Soldadura y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, respectivamente), reconocidas autoridades dentro del renglón de la soldadura, dictan normas de clasificación de electrodos.

Para una información sencilla y a la vez concreta de las propiedades de cada electrodo, la A.W.S. y la A.S.M.E., han establecido la nomenclatura usada en los electrodos.

Las dos primeras cifras de un número de 4, o las 3 primeras de 5 significan la resistencia mínima a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada del metal depositado. La penúltima cifra significa la posición en que se debe aplicar (plana, horizontal, vertical y sobre cabeza). La última cifra significa el tipo de corriente (corriente alterna o corriente continua) el tipo de escoria, tipo de arco, penetración y presencia de compuestos químicos en el recubrimiento.

Las tablas 2.1 y 2.2 dan amplia información sobre la interpretación de los números.

**Tabla.2.1. Nomenclatura de los Electrodos** (*fuentes: Manual de Electrodo para Soldar, Grupo Infa*)

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 ó 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E 60 XX = 60 000 lb/pulg <sup>2</sup> (mínimo).
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Última	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	Ver Tabla 2

**NOTA:** El prefijo "E" significa electrodo para soldadura por arco.

**Tabla.2.2. Tipo de Corriente y Penetración (fuente: Manual de Electrodo para Soldar Grupo Infa)**

ULTIMA	E-XX10	E-XX11	E-XX12	E-XX13	E-XX14	E-XX15	E-XX16	E-XX17	E-XX18
Tipo de corriente	CDPI e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CA o CD Polaridad Directa e-	CA o CD e+ - Ambas Polaridades	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida
Tipo de revestimiento	b Orgánico	Orgánico	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno
Tipo de arco	Fuerte	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	⚡ Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana

### Electrodo GRICON 29

#### Norma

AWS/ASME	SFA - 5.1
COVENIN	No. 1477 - 2001
POSICIONES	Todas
CORRIENTE	Continua Polo Positivo (+)

#### Clasificación : E6010

**Descripción:** Electrodo de revestimiento celulósico que genera alta energía en el arco, lo cual asegura una profunda penetración en todas las posiciones, facilitando el trabajo en montajes donde las condiciones de soldadura no son ideales, tal como la preparación defectuosa de las juntas. Sus depósitos están libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual proporciona seguridad en la inspección radiográfica. Presenta arco estable con moderada densidad de salpicaduras, de fácil encendido y re encendido.

**Aplicaciones:** Adecuado para los cordones de raíz en estructuras, tanques, soldaduras de planchas pesadas y láminas gruesas, como las usadas en la industria naval, fabricación de recipientes y principalmente para la soldadura en campo de

varios tipos de tuberías. Combinando pase de raíz con GRICON 29 mas relleno con GRICON 15 se obtienen depósitos de alta ductilidad y resistencia tensil con calidad radiográfica asegurada, como exige el Código API.

**Operación:** La potencia del arco permite la soldadura en vertical descendiente, a mayor velocidad, mejorando la productividad del proceso. Para la soldadura en vertical ascendente disminuya la corriente. En vertical descendiente aplique la técnica de arrastre, manteniendo el electrodo dentro del bisel, de forma que origine una perforación que sigue con el avance del electrodo.

### Electrodo GRICON 15

#### Norma

AWS/ASME	SFA - 5.1
COVENIN	No. 1477 - 2001
POSICIONES	Todas, excepto vertical descendente
CORRIENTE	Alterna o Continua Polo Positivo (+)

#### Clasificación: E7018

**Descripción:** Electrodo de revestimiento básico con alto contenido de hierro en polvo que genera un rendimiento de 120%. Sus depósitos son de bajo hidrógeno, tenaces, resistentes al agrietamiento, libres de poros e inclusiones de escoria, lo cual queda demostrado al realizar el análisis radiográfico. Presenta arco estable de poca salpicadura, cordones de apariencia uniforme con fácil remoción de escoria.

**Aplicaciones:** Soldadura de los aceros de bajo y medio carbono hasta 0,45% C, aceros al carbono-manganeso, aceros de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 70000 psi, aceros con alto contenido de azufre y fosforo considerados dúctiles de soldar. Su campo de aplicación abarca temperaturas de trabajo desde -30°C hasta 350°C.

Las aplicaciones específicas incluyen plantas de potencia, plantas petroquímicas, montajes de estructuras de acero, equipos de minería, soldadura en ambientes de baja temperatura donde las propiedades de impacto sean importantes,

construcción de vagones y trenes, rieles, equipos pesados. Construcciones navales en acero de los grados A, B, D y E, erección de plataformas costa afuera, construcción de calderas, tanques gasoductos y oleoductos.

**Operación:** Suelde con arco corto, limpie bien la escoria entre pases. Para soldaduras en vertical llevar la progresión ascendente. Se recomienda almacenar los electrodos en termos a temperatura entre 70°C y 120°C para uso inmediato.



Fig. 2.19.- Electrodo GRICON E6010 y E7018



## 2.21. Equipos Eléctricos

### 2.21.1. *SimoCode Siemens 3UF50*

SIMOCODE pro (SIRIUS Motor Management and Control Device) es un sistema de gestión de motores modular y flexible para motores de velocidad constante de la gama de baja tensión. Este sistema optimiza la conexión entre el control de procesos y la derivación a motor, eleva la disponibilidad de la instalación y permite reducir considerablemente los costos durante el montaje, la puesta en marcha, el servicio y el mantenimiento de una instalación. SIMOCODE pro se incorpora en el tablero de distribución de baja tensión y constituye una conexión inteligente entre el sistema de automatización de orden superior (vía PROFIBUS DP) y la derivación a motor, y ofrece las siguientes funciones:

- Protección integral del motor, electrónica y multifuncional, independiente del sistema de automatización
- Funciones de control integradas en vez de un control de motor vía hardware
- Datos de operación, mantenimiento y diagnóstico detallados
- Desconexión segura hasta SIL3 mediante módulos de ampliación de seguridad (solo SIMOCODE pro V)
- Comunicación abierta vía PROFIBUS DP, el sistema de bus de campo estándar.
- Parametrización con el paquete de software SIMOCODE ES.

Adicionalmente sólo se necesitan los dispositivos de maniobra y de protección contra cortocircuitos del circuito principal (contactores, interruptores automáticos, fusibles).

**Ventajas**

- Gracias a que la derivación a motor se integra totalmente en el control del proceso a través del bus, es posible reducir considerablemente el cableado entre la derivación a motor y el PLC (ver figura 2-1 / 2-2 "SIMOCODE pro, integrado en el circuito principal, en el circuito de control y en el nivel de automatización (PLC)")
- Es posible descentralizar los procesos de automatización aplicando funciones de vigilancia y control configurables en la derivación, esto permite ahorrar recursos en el sistema de automatización y garantiza una funcionalidad y protección integrales de la derivación, incluso si falla el sistema de control o de bus.
- El registro y la vigilancia de datos de operación, mantenimiento y diagnóstico en la derivación y en el sistema de control de proceso permite aumentar la disponibilidad de la instalación y optimizar los trabajos de mantenimiento y reparación de la derivación.
- Gracias al alto grado de modularidad, el usuario puede configurar de manera óptima cada derivación a motor en función de los requerimientos específicos de la instalación.
- El sistema SIMOCODE pro ofrece para cada aplicación específica soluciones compactas y con funcionalidad escalonada.
- Gracias a que las funciones de control integradas reemplazan el hardware del circuito de control, es posible reducir el número de componentes de hardware que va cableado, lo cual limita los costos de almacenaje y posibles errores de cableado.

- La protección integral electrónica del motor permite aprovechar al máximo los motores y garantiza a largo plazo una alta estabilidad de la curva característica de disparo con un comportamiento de disparo constante, incluso después de varios años de servicio.

# *CAPÍTULO III*

## CAPÍTULO III

*DISEÑO CONCEPTUAL*

En este capítulo se aplicará la Metodología de Diseño mencionada en el capítulo anterior lo que llevará a seleccionar la propuesta de diseño final que permitirá cumplir con el objetivo principal de este trabajo de la manera más eficiente.

**3.1. Fase Divergente*****3.1.1. Condiciones Preliminares de Diseño***

Al comenzar un proceso de diseño para satisfacer una necesidad, se deben establecer una serie de criterios o requerimientos con los que debe cumplir el resultado final para que sea satisfactorio y de esto dependerá la selección de la solución.

A continuación se presentan los criterios que se tendrán en cuenta a la hora de evaluar las soluciones, lo cuales están fundamentados en los objetivos de la investigación.

1. El Diseño Final debe cumplir con todos los objetivos del procedimiento de sondeos, de modo de satisfacer las necesidades del departamento de procesos obteniendo las mediciones de las variables operacionales que actualmente motivan a realizarlo.
2. La seguridad es el primer valor de la empresa, por lo que el diseño final debe mitigar los riesgos de incidente que el personal involucrado en la medición, adquiere a la hora de realizar los sondeos.
3. Economizar los costos de operación es uno de los objetivos principales de cualquier empresa, por lo que el diseño debe poder ser puesto en funcionamiento con un presupuesto reducido y cumplir con el objetivo del procedimiento. Los costos serán un criterio importante para la selección.
4. El Diseño Final debe ser factible y debe poder ser puesta en marcha sin grandes obstáculos o contratiempos, permitiendo así, implementar el proyecto en el menor tiempo posible y que los sondeos se realicen de forma segura.

### **3.1.2. Entrevista**

Con este instrumento podremos obtener información en detalle sobre el procedimiento de sondeos, únicamente conocidos por el personal involucrado. Se le realizarán entrevistas a los Ingenieros de Procesos encargados de la logística para el cumplimiento de los sondeos además de llevar el control tanto de las mediciones como de las variables obtenidas, y a los horneros del área de reducción que realizan en sí, la actividad.

### **3.1.3. Selección de Entrevistados**

Las Entrevistas se realizarán a dos grupos, que son, Ingenieros de Procesos y Personal de Actividad, donde cada uno de ellos aportará información de vital importancia para el diseño, dependiendo del tipo de relación que estos tienen con el procedimiento de sondeos. A pesar de que las entrevistas se realizarán en un solo grupo, estas serán personalizadas ya que cada entrevistado puede tener un punto de vista diferente sobre los aspectos que tendremos como base al momento de entrevistar.

#### **Entrevistas a Ingenieros de Procesos**

Se espera de este grupo obtener información específica sobre la importancia del porqué de los sondeos como herramienta de control de procesos de la planta y las variables operacionales que manejan, además de su opinión con respecto a las especificaciones que debe cumplir el diseño. Está compuesto este grupo, por los Ingenieros del Dpto. de Procesos.

La entrevista se aplicará a los siguientes integrantes del Dpto. de Procesos

- Ing. Edgar Gonzales (Jefe de Ingenieros de Procesos)
- Ing. Joseph Montilla (Ingeniero de Procesos)
- Ing. Hayde Barrios (Jefe de Departamento de Procesos)

Se muestra a continuación el modelo de la entrevista aplicada a este grupo. (Las entrevistas completas se pueden encontrar en los anexos de este trabajo)

**Entrevista a Ing. de Procesos**

Fecha:

Hora:

Lugar:

Objetivos:

- Determinar el ¿Qué? y ¿Porque? se realiza el Sondeo
- Determinar si el Sondeo es indispensable para el control eficiente del proceso
- Determinar ¿Que espera el Dpto. de Procesos del equipo de Sondeo a diseñar?

- 1) Según su experiencia, ¿Que información determina el Dpto. de Procesos con la realización del procedimiento de Sondeos en los Hornos de Reducción?
- 2) Según su criterio, ¿Porque es indispensable la información que nos arroja el sondeo para el control del proceso?
- 3) ¿Porque el mejor procedimiento para obtener la información que se obtiene de los sondeos es precisamente este?
- 4) Según su posición de Ing. de Procesos ¿Que espera usted que realice el equipo a Diseñar?
- 5) Considera usted ¿Que el procedimiento actual para la realización de sondeo es un acto inseguro para los operadores?

### 3.2. Fase de Transferencia

#### 3.2.1. Tormenta de Ideas

Esta herramienta de diseño se plantea con el fin de generar la mayor cantidad de soluciones al problema principal de este proyecto. La sesión se realizó en el taller central de la planta Loma de Níquel, contando con la presencia de mecánicos, instrumentistas, planificadores, entre otros.

Lugar	Fecha	Hora	Duración	N° de Participantes	N° de Ideas
Taller Central LdN	01/ 03/ 13	8:00 am	20 minutos	12	31

Para iniciar la sesión se planteó la siguiente pregunta. ¿Cómo se debería realizar el procedimiento automatizado de los sondeos en los Hornos de Reducción?

A continuación, se muestra en la tabla 4.1, la enumeración de las soluciones aportadas en la tormenta de ideas y el desarrollo de conceptos de cada una.

#### 1. Sistema Hidráulico de Abrazaderas

Sistema que funciona actualmente en la planta, se basa en dos abrazaderas que sostienen un electrodo. Abren y cierran por un sistema de cilindro hidráulico doble efecto y su función es desplazarlo hacia abajo.

#### 2. Winche

Guaya enrollada en un cilindro que haciéndolo girar logras desplazar verticalmente hacia arriba y abajo. Se coloca al final de la guaya la barra de medición.

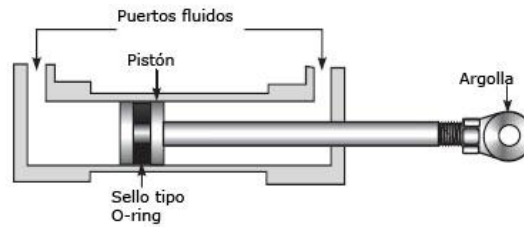




**Fig. 3.1. Winche** (fuente: *Buscador Google/Image*)

### 3. Pistón Neumático

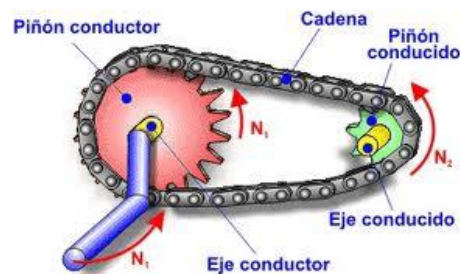
Usar el desplazamiento del pistón para movimiento vertical y acoplar la barra de medición al cilindro.



**Fig. 3.2. Pistón Neumático**  
(fuente: *Buscador Google/Image*)

### 4. Sistema de Cadenas

Sistema de piñón y corona que mueven una cadena y se le acopla a un eslabón una estructura que sostendrá la barra de medición.



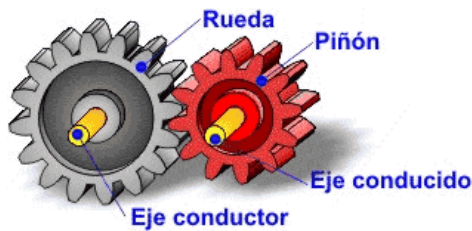
**Fig. 3.3. Sistema de Cadenas**  
(fuente: *Buscador Google/Image*)

### 5. Sensor Infrarrojo

Colocar un sensor infrarrojo debajo del techo del horno y medir las variables.

### 6. Sistema de engranajes

Usar unos engranajes que estén acoplados en sí, y al elemento conducido hacerle un orificio roscado en el centro y usar una barra de medición totalmente roscada para lograr desplazarla con el engranaje.



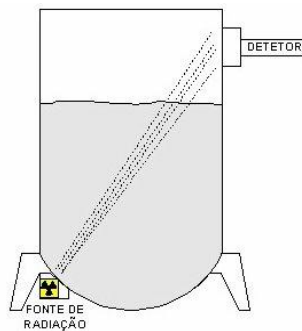
**Fig. 3.4. Sistema de Engranajes**  
(fuente: Buscador Google/Image )

### 7. Procedimiento actual

Idea de eliminar el problema y dejar todo como esta.

### 8. Instrumento Radiactivo

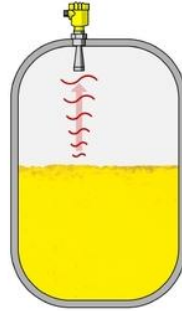
Instalar un instrumento en el horno con dos entes radiactivos, un emisor y un receptor. El receptor envía la señal del nivel.



**Fig. 3.5. Instrumento Radiactivo**  
(fuente: Buscador Google/Image )

### 9. Sistema de Radar

Instalar un instrumento debajo del techo del horno que emite ondas sonoras para medir nivel y desfases en la carga.



**Fig. 3.6. Sistema de Radar**

(fuente: Buscador Google/Image )

### 10. Usar Barra Cambiable

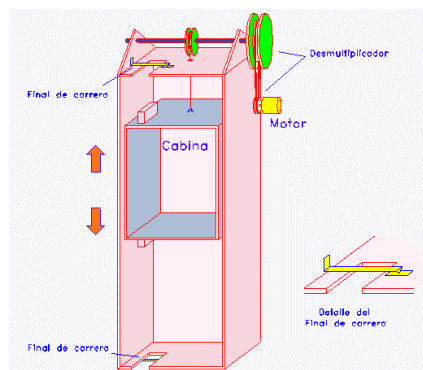
Usar una barra desechable después de cada medición.

### 11. Adaptable un Sensor de Temperatura

Adaptarle un sensor de temperatura al equipo para que cense la temperatura de la barra, para una medición referencial de la temperatura del baño.

### 12. Sistema de Ascensor

Instalar una combinación de poleas que desplacen controladamente la barra de medición.



**Fig. 3.7. Sistema de Ascensor**

(fuente: Buscador Google/Image )

**13. Usar Barra Refractaria**

Usar barra de medición cubierta de refractario.

**14. Tornillo Sin Fin con Mordazas****15. Usar un Encoder**

Instalar en el equipo un encoder de posicionamiento para controlar el desplazamiento.

**16. Sistema de Cremallera**

Instalar una cremallera fija en una estructura y desplazarla mediante un piñón motriz. A la estructura se le instalara la pieza que sujetara la barra de medición.

**17. Sacrificar a Pinto**

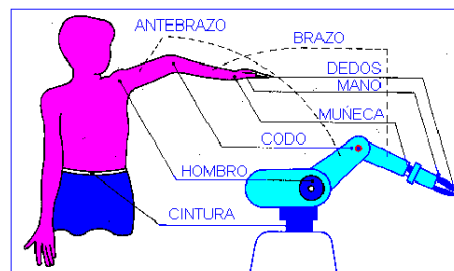
Idea de eliminar el riesgo, usando para la medición alguien sin importancia.

**18. Sacrificar la Barra Soltándola**

Implica que luego de la medición se suelte la barra en el baño para eliminar el riesgo de quemaduras al sacarla.

**19. Sistema Robótico**

Sistema que por brazos robóticos, tome una barra en un cartucho de medición, se posicione en el punto de medición y comience el proceso de sondeo.



**Fig. 3.8. Sistema Robótico**  
(fuente: Buscador Google/Image )

### 20. Husillo de Avance

Sistema donde se aproveche el desplazamiento vertical de una pieza con rosca interna haciendo girar una barra roscada acoplada a un motor-reductor.

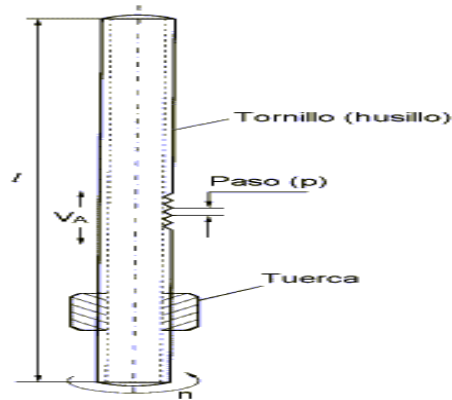


Fig. 3.9. Husillo de Avance (fuente: Buscador Google/Image )

### 21. Sistema de Poleas

Instalar un sistema de poleas con una guaya con un contrapeso en el extremo y en el otro un peso acoplado a la barra de medición. Se hará girar la polea acoplándola a un motor, para desplazar la guaya

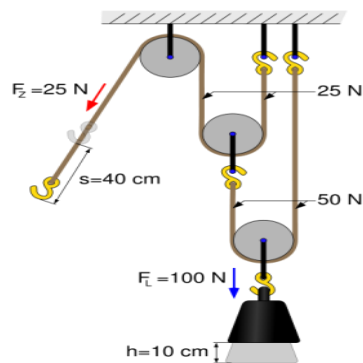
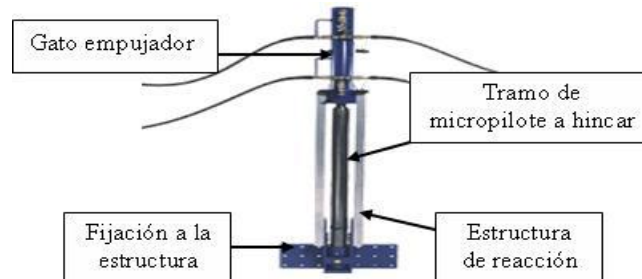


Fig. 3.10. Sistema de Poleas (fuente: Buscador Google/Image )

### 22. Gatos Hidráulicos en serie

Consiste en colocar dos gatos de 2 metros c/u en serie automatizados, de tal forma que luego de que termine la carrera del primero comience el segundo hasta lograr

los 4 metros y se coloca la barra de medición al final de la estructura que sostiene los gatos.



**Fig. 3.11. Gato Hidráulico**  
(fuente: Buscador Google/Image )

### 23. Botar a los Ing. de Procesos

Idea de eliminar el problema, despidiendo a los encargados de realizar el procedimiento.

### 24. Equipo Móvil

Colocar un sistema que logre desplazarse en forma de arco por medio de carros de traslación de modo de posicionarse en cada punto de medición y hacer el procedimiento más eficiente.

### 25. Adaptar Protección Refractaria

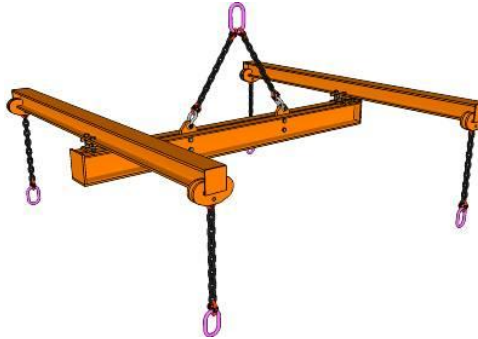
Idea de instalarle al sistema, protección refractaria para protegerlo de las reacciones del horno.

### 26. Adaptar Termocupla a la Barra de Medición

Instalarle una termocupla a la barra de medición para que este automáticamente mida la temperatura conjuntamente con el sondeo.

### 27. Sistema de Balancín

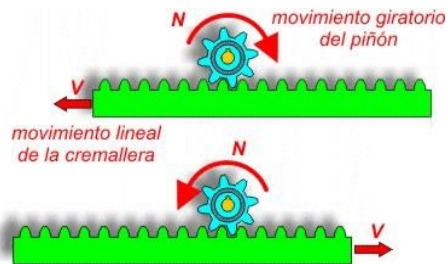
Aprovecha el desplazamiento vertical del balancín, colocando en un extremo un gato hidráulico doble efecto, para el avance y el retorno y en el otro la barra de medición.



**Fig. 3.12. Sistema de Balancín**  
(fuente: *Buscador Google/Image* )

### 28. Sistema de Cremallera con Piñón Móvil

Usar una cremallera fija en una estructura y desplazar el piñón por ella de tal forma de aprovechar el desplazamiento y acoplar la barra de medición a la estructura que soportara el motor con el piñón viajero.



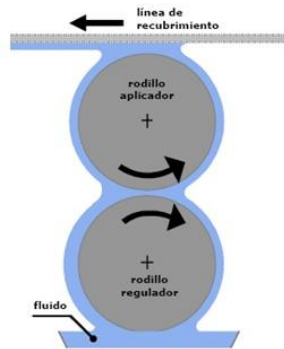
**Fig. 3.13. Sistema de Cremallera - Piñón**  
(fuente: *Buscador Google/Image* )

### 29. Consigue otro TEG

Idea de desligarse de la problemática y seguir realizando el procedimiento actual.

### 30. Rodillos Sujetadores y Empujadores

Consiste en usar un juego de rodillos que estén girando de frente, unos de otros, similar a los de la entrada de una fotocopiadora y aprovechar el empuje del mismo para el desplazamiento vertical de la barra de medición.



**Fig. 3.14. Rodillos Sujetadores y Empujadores**  
(fuente: *Buscador Google/Image* )

### 31. Sistema de Carro Móvil

Instalar dos vigas guías que sujeten un carro móvil con 2 ruedas dentadas. Las vigas tendrán agujeros continuos donde estarán encajando las ruedas dentadas del carro móvil para controlar el desplazamiento. Se le acopla a la estructura que llevara el motor, la pieza que sostendrá la barra de medición.

#### 3.2.2. Preselección de Ideas (*Filtrado de Ideas*)

Mediante este método, podremos realizar un filtrado de las soluciones obtenidas de la tormenta de ideas, a través de criterios generales que se muestran a continuación.

- **Factibilidad:** Las ideas deben ser posibles de realizar.
- **Lógico:** Las ideas deben estar contenidas en marco racional, cumplir con las leyes físicas y en congruencia con el contexto real.
- **Eficiencia:** Las ideas de la solución, deben ser eficientes en su operación.



- **Confiabilidad:** Las Ideas deben estar en un rango confiabilidad aceptable, donde se define como la probabilidad de que dicho sistema o componente no falle durante un intervalo tiempo.

Tabla 3.1. Matriz de Preselección de Ideas

Idea	Factibilidad	Lógico	Eficiencia	Confiabilidad	Total	Resultado
1	3	5	3	3	14	Rechazada
2	5	5	4	5	19	Seleccionada
3	3	5	2	3	13	Rechazada
4	5	5	4	4	18	Seleccionada
5	5	5	1	4	15	Rechazada
6	5	5	2	5	17	Rechazada
7	5	1	1	3	10	Rechazada
8	2	5	5	5	17	Rechazada
9	5	5	5	5	20	Seleccionada
10	5	5	5	5	20	Seleccionada
11	5	5	2	3	15	Rechazada
12	5	5	3	4	17	Rechazada
13	5	5	4	5	19	Seleccionada
14	5	5	2	4	16	Rechazada
15	5	5	5	5	20	Seleccionada
16	5	5	4	4	18	Seleccionada
17	1	1	1	1	4	Rechazada
18	5	5	3	3	16	Rechazada
19	2	5	5	3	15	Rechazada
20	5	5	4	5	19	Seleccionada
21	5	5	3	4	17	Rechazada
22	4	5	3	4	16	Rechazada
23	1	1	1	1	4	Rechazada

24	4	5	2	4	15	Rechazada
25	5	5	5	5	20	Seleccionada
26	5	5	4	5	19	Seleccionada
27	5	5	2	4	16	Rechazada
28	5	5	3	3	16	Rechazada
29	3	1	1	2	7	Rechazada
30	5	5	2	5	17	Rechazada
31	5	5	4	4	18	Seleccionada

### 3.3. Fase Convergente

De las diferentes técnicas de la metodología de diseño, se pudo obtener posibles soluciones completas entre combinaciones de las ideas plantadas en la generación de conceptos y que serán evaluadas según los criterios que se mostraran posteriormente, para la selección del diseño final del equipo.

#### 3.3.1. Enumeración de Soluciones Preseleccionadas

**Diseño # 1:** Sistema de Transmisión por Cadena

**Diseño # 2:** Sistema de Transmisión por Barra Roscada

**Diseño # 3:** Winche

**Diseño # 4:** Sensor de Radar

**Diseño # 5:** Sistema de Cremallera

**Diseño # 6:** Sistema de Carro Móvil

### 3.3.2. Desarrollo de Soluciones Preseleccionadas

#### Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 1

El equipo consiste en un sistema de piñón y corona accionado por un motor, donde el piñón estará colocado en la parte más baja del recorrido y la corona en la parte superior, desplazando así la cadena de forma vertical. La cadena estará acoplado al carro de transporte en donde se fijara la barra de medición, logrando así un desplazamiento paralelo de la estructura y la cadena.

La estructura se desplazara por unas guías laterales que estarán fijadas a una Viga Base o Madre HEB 200 que tomara la altura necesaria para que el desplazamiento del carro de transporte logre cumplir con la condición de diseño de inserción en el horno.

La medición de nivel de carga se realizara con un instrumento llamado Encoder, y su funcionamiento consiste en guardar señales o pulsos transformando el movimiento angular en un desplazamiento lineal. Ajustando este funcionamiento a la curva de torque del motor, podemos indicarle al encoder cuando ocurra un pico de torque, guardar las señales para luego calcular el nivel de carga, ya que el motor tendrá dos puntos donde se le exigirá más esfuerzo, al romper la escoria superficial y al llegar al fondo del Horno o "*Build up*".<sup>1</sup>

Para la medición de la apreciación visual, se le instalará una regleta que estará paralelo a la barra, de tal forma que el operador pueda apreciar mediante los rastros de la escoria y metal que quedan incrustadas luego de sacar la barra, cualquier información adicional sobre los desfases dentro del baño.

Se adaptará al equipo una protección refractaria que estará debajo de él, para evitar que las posibles reacciones del horno afecten el sistema. También se le adaptará una protección eléctrica debido a que el equipo estará operando en un ambiente donde se genera un campo eléctrico de grandes magnitudes.

---

<sup>1</sup> "*Build up*", Última capa de mineral encontrada dentro más profundos del horno. del Horno Eléctrico de Reducción, debido a la pérdida de calentamiento del arco eléctrico en los niveles En esta capa el mineral se encuentra en una contextura pastosa de alta resistencia.

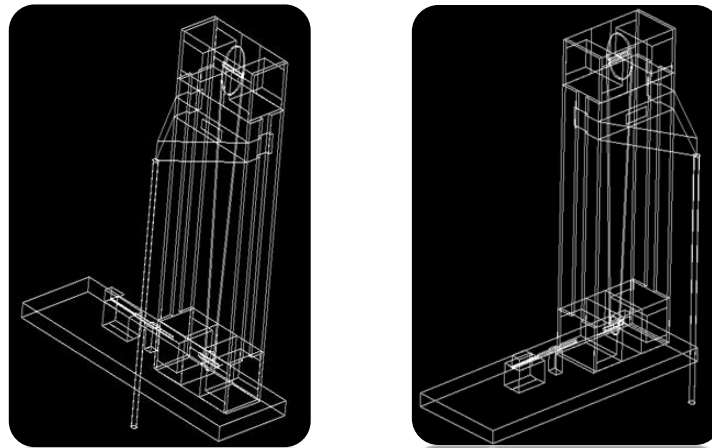


Fig. 3.15. Propuesta de Diseño # 1

### Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 2

El equipo estará compuesto por un motor-reductor al cual se le acoplara una barra roscada. Aprovecharemos el movimiento vertical de una pieza que hará las veces de la tuerca, en donde estará instalada la barra de medición y una guía para evitar el giro de la misma. La rosca deberá ser preferiblemente de un paso grande o de varios hilos para que el desplazamiento sea mayor y realice el proceso de sumergir y sacar la barra de medición en un menor tiempo. El equipo deberá tener un soporte o rodamiento en la parte superior y estará fijo a una estructura base compuesta de vigas.

La medición de nivel de carga se realizara con un instrumento llamado Encoder, y su funcionamiento consiste en guardar señales o pulsos transformando el movimiento angular en un desplazamiento lineal. Ajustando este funcionamiento a la curva de torque del motor, podemos indicarle al encoder cuando ocurra un pico de torque, guardar las señales para luego calcular el nivel de carga, ya que el motor tendrá dos puntos donde se le exigirá más esfuerzo, al romper la escoria superficial y al llegar al fondo del Horno o "*Build up*".

Para la medición de la apreciación visual, se le instalara una regleta que estará paralelo a la barra, de tal forma que el operador pueda apreciar mediante los rastros de la

escoria y metal que quedan incrustadas luego de sacar la barra, cualquier información adicional sobre los desfases dentro del baño.

Se adaptará al equipo una protección refractaria que estará debajo de él, para evitar que las posibles reacciones del horno afecten el sistema. También se le adaptará una protección eléctrica debido a que el equipo estará operando en un ambiente donde se genera un campo eléctrico de grandes magnitudes.

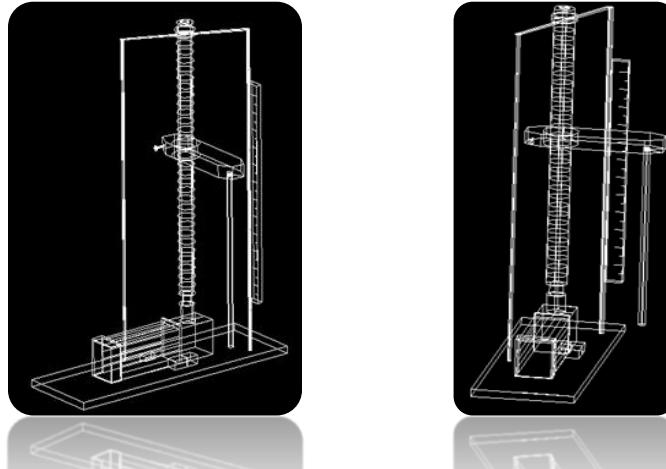


Fig. 3.16. Propuesta de Diseño # 2

### Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 3

Esta propuesta consiste en instalar un Winche, equipo que está compuesto de un motor que hace girar un cilindro, enrollando una guaya. Se colocara en el nivel 18.000, piso que esta encima del nivel de la bóveda del horno. Justo debajo del Winche se hará la medición. La barra de medición estará en el extremo de la guaya y se le colocara una especie de cono de guía, para evitar que la barra de medición se desplace hacia los lados. La guaya tendrá instalada un peso que aportara la fuerza suficiente para atravesar la escoria superficial (Contrapeso).

Para la medición de la apreciación visual, se le instalara una regleta que estará paralelo a la barra, de tal forma que el operador pueda apreciar mediante los rastros de la escoria y metal que quedan incrustadas luego de sacar la barra, cualquier información adicional sobre los desfases dentro del baño.

La medición del nivel de carga se tomara por medio de unas divisiones en la guaya que tendrán una distancia específica, de modo que el operador pueda apreciar la distancia recorrida dentro del horno.

Se le adaptará una protección eléctrica debido que el equipo estará operando en un ambiente donde se genera un campo eléctrico de grandes magnitudes.

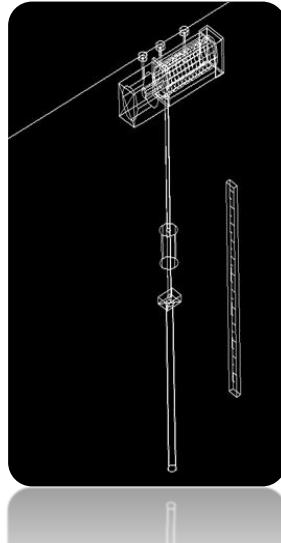


Fig. 3.17. Propuesta de Diseño # 3

#### **Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 4**

Esta propuesta consiste en instalar en el techo del horno un sensor que medirá el nivel de carga y desfases dentro del baño de forma precisa, mediante una medición ultrasónica, enviando ondas de sonido y al recibirlas obtiene la lectura. Cabe destacar que este instrumento estará sometido a grandes emisiones radioactivas, debido a las altas temperaturas dentro del horno conectado y desconectado. Podremos obtener mediciones continuas lo cual será una ventaja sobre los demás diseños.

**Nota:** Esta propuesta no entrara en la evaluación del criterio de las consideraciones diseño mencionados anteriormente ya que su funcionamiento es totalmente diferente.

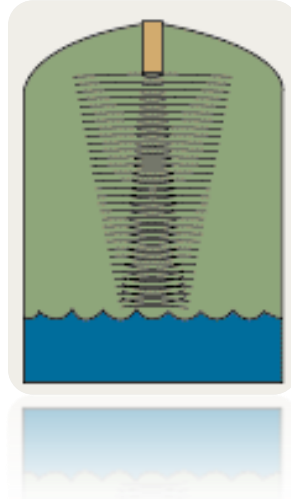


Fig. 3.18. Propuesta de Diseño # 4

#### Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 5

Es un equipo que va a estar conformado por un piñón accionado por un motor y una cremallera. El motor va a estar fijo a una distancia específica para que la cremallera pueda recorrer los 5 metros de recorrido. En la parte inferior de la estructura de la cremallera, estará una pieza que sostendrá la barra de medición. La barra de medición estará al nivel de la bóveda para aprovechar su inmersión dentro del Horno.

Para la medición de la apreciación visual, se le instalara una regleta que estará paralelo a la barra, de tal forma que el operador pueda apreciar mediante los rastros de la escoria y metal que quedan incrustadas luego de sacar la barra, cualquier información adicional sobre los desfases dentro del baño.

La medición de nivel de carga se realizara con un instrumento llamado Encoder, y su funcionamiento consiste en guardar señales o pulsos transformando el movimiento angular en un desplazamiento lineal. Ajustando este funcionamiento a la curva de torque del motor, podemos indicarle al Encoder cuando ocurra un pico de torque, guardar las señales para luego calcular el nivel de carga, ya que el motor tendrá dos puntos donde se le exigirá más esfuerzo, al romper la escoria superficial y al llegar al fondo del Horno o "*Build up*".

Se le adaptará una protección eléctrica debido que el equipo estará operando en un ambiente donde se genera un campo eléctrico de grandes magnitudes.

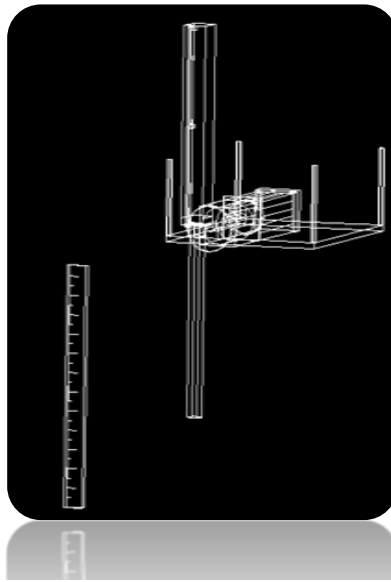


Fig. 3.19. Propuesta de Diseño # 5

### **Propuesta Inicial de Funcionamiento del Diseño # 6**

Es un equipo que está conformado por una Viga que va a ser la función de un riel. Este Riel estará diseñado con unos orificios continuos para el acople de las ruedas del carro móvil. En la estructura del carro móvil se sostendrá la barra de medición. El carro móvil tendrá 4 (cuatro) ruedas dentadas diseñadas de tal manera, que puedan aportarle mayor fuerza al momento de frenar.

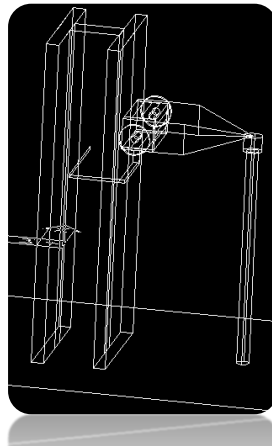
Para la medición de la apreciación visual, se le instalara una regleta que estará paralelo a la barra, de tal forma que el operador pueda apreciar mediante los rastros de la escoria y metal que quedan incrustadas luego de sacar la barra, cualquier información adicional sobre los desfases dentro del baño.

La medición de nivel de carga se realizara con un instrumento llamado Encoder, y su funcionamiento consiste en guardar señales o pulsos transformando el movimiento angular en un desplazamiento lineal. Ajustando este funcionamiento a la curva de torque del motor, podemos indicarle al Encoder cuando ocurra un pico de torque, guardar las



señales para luego calcular el nivel de carga, ya que el motor tendrá dos puntos donde se le exigirá más esfuerzo, al romper la escoria superficial y al llegar al fondo del Horno o "*Build up*".

Se adaptará al equipo una protección refractaria que estará debajo de él, para evitar que las posibles reacciones del horno afecten el sistema. También se le adaptará una protección eléctrica debido a que el equipo estará operando en un ambiente donde se genera un campo eléctrico de grandes magnitudes.



**Fig. 3.20. Propuesta de Diseño # 6**

### 3.3.3. Criterios de Selección

Para la selección del Diseño Final, se le dio una ponderación a cada uno de los criterios de selección en concordancia con la importancia de cada uno para la culminación del proyecto. A continuación se presenta en la tabla 3.2, la ponderación.

**Tabla 3.2. Ponderación de los Criterios de Selección**

<b>Criterios de Selección:</b>	<b>Ponderación</b>
<i>1) Operatividad</i>	<i>25 %</i>
<i>2) Consideraciones de Diseño</i>	<i>25 %</i>
<i>3) Seguridad</i>	<i>10 %</i>
<i>4) Mantenibilidad</i>	<i>10 %</i>
<i>5) Costos</i>	<i>20 %</i>
<i>6) Manufacturación</i>	<i>10 %</i>
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

1. **Operatividad:** Este parámetro evalúa que el Diseño Final del equipo cumpla en términos de eficiencia con las funciones del procedimiento actual de Sondeo, especificado en el Capítulo II, arrojando los datos de nivel de carga del Horno Eléctrico de Reducción y la apreciación visual de la barra de medición luego de ser introducida en el baño.
  
2. **Consideraciones de Diseño:** Para que el Diseño Final sea factible, el equipo debe cumplir ciertas consideraciones de diseño evaluadas en este criterio, las cuales son:
  - 2.a. Realizar una inserción de 4 metros dentro del Horno Eléctrico.
  - 2.b. Usar para la medición barras de 1/2" (Desechables).
  - 2.c. Poder realizar una fuerza de empuje, capaz de atravesar la escoria superficial del baño.
  - 2.d. Realizar el proceso de sumergir y extraer la barra de medición en un tiempo máximo de 1 minuto.

- 2.e. Ser resistente a la contaminación (Partículas de Polvo).
  - 2.f. Ser compacto y adaptable al espacio con que se cuenta.
  - 2.g. Poder accionarse desde la sala de control.
  - 2.h. Poder adaptarse una protección refractaria y eléctrica.
3. **Seguridad:** El equipo deberá accionarse y realizar el procedimiento sin el apoyo de personal alguno en sitio, solo se permitirá presencia del operador al momento de realizar la apreciación visual de la medición luego de que el equipo culmine el proceso. Dicha disposición se evaluara en este criterio.
4. **Mantenibilidad:** El equipo debe estar accesible para su mantenimiento y poder realizarse de manera simple, tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo.
5. **Costos:** La evaluación económica se define este criterio. La construcción y el mantenimiento del equipo debe tener como finalidad, economizar los costos de la empresa.
6. **Manufacturación:** La construcción del equipo debe ser factible tanto en la adquisición de los materiales como en el tiempo de fabricación final.

Uno de los criterios de mayor importancia para la selección del diseño final, son las consideraciones de diseño, en la cual entraran las evaluaciones de las limitaciones por las condiciones del ambiente de trabajo del equipo, espacio disponible para la instalación, profundidad de inserción, entre otros, que debe cumplir el diseño para el funcionamiento eficaz. La información de las especificaciones para la evaluación está en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Evaluación de Consideraciones de Diseño

Consideraciones de Diseño	Ponderación [%]
<i>Inserción de 4 metros</i>	4
<i>Barras de 1/2"</i>	2,5
<i>Fuerza de Empuje</i>	3
<i>Realizar el Proceso en <math>t_{max} = 1 \text{ min}</math></i>	3
<i>Resistente a la Contaminación</i>	3
<i>Compacto y Adaptable al Espacio</i>	5
<i>Accionar desde la Sala de control</i>	2,5
<i>Protección refractaria y eléctrica</i>	2
	25 %

#### 3.3.4. Selección del Diseño Final

Finalmente luego de establecer las especificaciones a evaluar en el criterio de Consideraciones de Diseño, se realizará La Matriz de Decisión o de Divergencia, la cual nos permite evaluar las ideas preseleccionadas en un marco de criterios definidos y ponderados según su importancia la cual, nos arrojará la idea del diseño que mejor se adapte a nuestras Condiciones Preliminares además de ser la más factible para el proyecto. Esta evaluación se hará con una ponderación donde 1 será lo más desfavorable y 5 el puntaje más favorable.

Tabla3.4. Matriz de Decisión

		Factor Ponderación (%)	Diseño # 1	Diseño # 2	Diseño # 3	Diseño # 4	Diseño # 5	Diseño # 6
<b>Operatividad</b>		25	5	5	2	5	5	5
<b>Consideraciones de Diseño</b>		25	4,6	4,5	4	5	4,5	4,5
	Inserción 4 m	4	5	5	5		5	5
	Barras 1/2"	2,5	5	5	5		5	5
	Fuerza de Empuje	3	4	5	1		5	3
	t = 1 min	3	5	3	3		5	4
	Resistente Contaminación	3	3	3	5		4	4
	Compacto y Adaptable al Espacio	5	5	5	3		2	5
	Accionar Sala de Control	2,5	5	5	5		5	5
	Protección Refractaria y Eléctrica	2	5	5	5		5	5
<b>Seguridad</b>		10	4	4	3	5	4	4
<b>Mantenibilidad</b>		10	4	4	5	4	3	3
<b>Costos</b>		20	4	3	5	1	4	3
<b>Manufacturación</b>		10	4	3	5	1	4	3
	<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>461</b>	<b>423</b>	<b>402</b>	<b>375</b>	<b>442</b>	<b>403</b>

De la tabla 3.4 se pudo apreciar que el Diseño # 1 obtuvo el puntaje más favorable para las condiciones y criterios especificados anteriormente, basados en el análisis de 6 propuestas de diseño evaluadas en la Matriz de Decisión.

Por lo tanto la **Propuesta de Funcionamiento del Diseño # 1**, será la Propuesta Final del proyecto para la Solución del problema en cuestión.

### **3.4. Desarrollo y Optimización**

Seleccionada la propuesta definitiva, se procede a realizar el desarrollo y optimización de la máquina. En este proceso del diseño se evalúan cada uno de los componentes de la máquina en su condición más desfavorable para garantizar su óptimo funcionamiento, siempre y cuando se le dé un uso adecuado. Es aquí donde se realizan los cálculos preliminares, se realizan modificaciones y ajustes para obtener un diseño completamente funcional. El capítulo IV de éste trabajo será dedicado completamente a este proceso, llegando así al diseño definitivo.

### **3.5. Construcción y Especificaciones**

Con un diseño establecido y calculado teóricamente, se modelan planos para continuar con una de las partes más importantes en el proceso de diseño, la construcción de un prototipo. Aquí, se debe especificar cuál es la mejor manera de construir la máquina señalando los procesos de fabricación, la adquisición de sistemas y proponer una línea de producción óptima. Es en este paso donde se interactúa con los proveedores, operadores de máquinas herramientas y todas aquellas personas involucradas en la fabricación, que aportan ideas que facilitan la producción, aminorando el costo y el tiempo. Estas ideas, por lo general, se desarrollan como mejoras en el diseño original, modificándolo en el tipo de material, sistemas originalmente propuestos, forma, dimensiones, etc.

Una vez fabricado el prototipo y determinada la mejor manera de producirlo, se realizan pruebas para verificar su funcionamiento. Es aquí donde se realizan los ajustes finales y así dar por concluido el proceso de diseño. Esta es la fase final, donde se describen detalladamente las especificaciones finales en un manual de operaciones y se propone el diseño como una máquina funcional y operable para su función.

# ***CAPÍTULO IV***

**CAPÍTULO IV*****DESARROLLO DE LA MÁQUINA DE SONDEO***

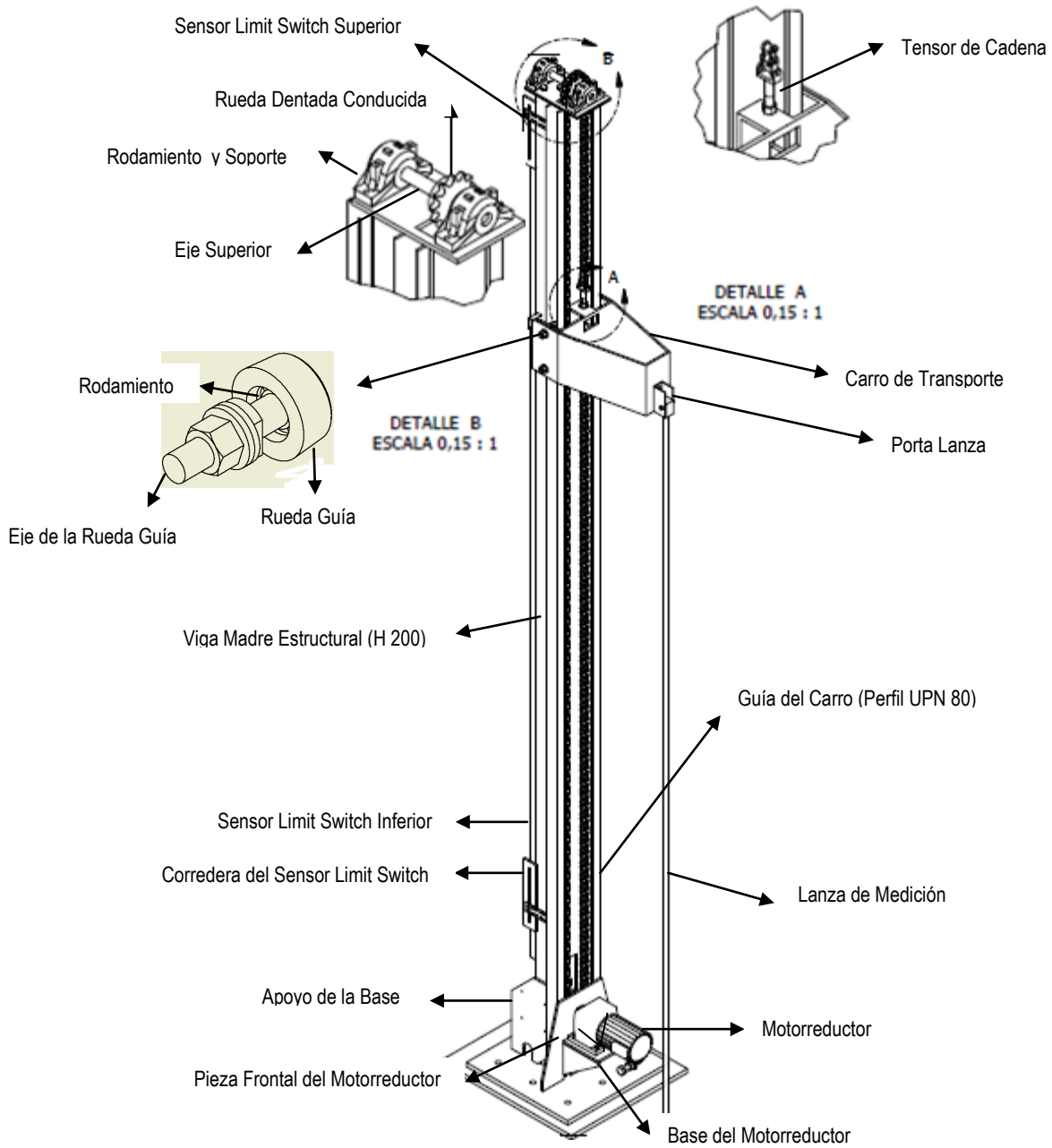
Una vez realizada la selección de un diseño final o idea ganadora resultante de la matriz de decisión del capítulo anterior, se comienza un proceso de desarrollo de los sistemas que conforman este diseño. La propuesta de funcionamiento # 1 fue la seleccionada como diseño definitivo, por lo tanto se realizarán en este capítulo los cálculos pertinentes para determinar su funcionamiento adecuado. Esto se hace planteando modelos aproximados que permiten estimar las dimensiones apropiadas, tomando en cuenta los factores de seguridad que le proporcionan confiabilidad al equipo.

La máquina de sondeos está constituida por una serie de elementos como se muestra en la Figura 4.1. A continuación se realizará el análisis de cada uno de los componentes del equipo asociándolos en tres grupos que lo definen en su totalidad.

Estos serán

- Sistema de Transmisión
- Sistema de Transporte
- Base de la Máquina





**Fig. 4.1. Vista Isométrica de la Máquina de Sondeo**

## 4.1. Sistema de Transmisión

### 4.1.1. Dimensionamiento y Análisis del Carro de Transporte

#### Carro de Transporte

##### Láminas de Acero A36

Densidad del Acero

$$\gamma = 7,8 \text{ gr/cm}^3$$

$$P = 71,6 \text{ kg}$$

Centro de Masas

$$x = -6 \text{ mm}$$

$$y = 243 \text{ mm}$$

$$z = -216 \text{ mm}$$

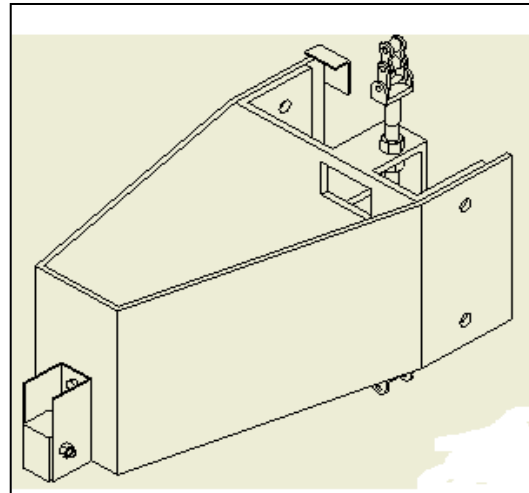


Fig. 4.2. Carro de Transporte

El carro de transporte tendrá una altura de 300 mm para aprovechar la separación de las ruedas guías y compensar de la mejor manera el momento producido por el choque de la lanza de medición posicionada en el extremo del carro, con la escoria del baño o con el fondo del horno en su defecto.

El largo del carro de transporte desde la línea vertical donde se posicionan las ruedas, hasta el porta lanza será de 600 mm, para asegurar que el motor el cual estará de frente a la estructura, no interfiera con el recorrido de la lanza de medición.

#### Barra de Medición

*Tube Conduit, serie Liviana (Anexo "A"-A8)*

*Cambiable*

$$P = 7 \text{ kg}$$

#### 4.1.2. Selección de la Cadena

Para determinar las tensiones que soportara la cadena, se realizará un estudio de Tracción, en donde se calcularán las fuerzas axiales que podamos conseguir en la cadena cuando el equipo se encuentre en funcionamiento.

#### Movimiento de Subida del Carro

Suponiendo por los momentos, que debido al alcance de 4,5 m que debe tener el Carro de Transporte se usarán 10 metros de cadena, para un primer cálculo aproximado.

El cálculo de  $P_c$  es difícil ya que es "a priori" no se conoce el tipo de cadena, es por eso que  $P_c$  se obtiene de la tabla

Tabla 4.1. Cálculo Aproximado del Peso de la Cadena

Inclinación del Transportador		
	$\leq 20^\circ$	$\geq 20^\circ$
<b>Material sobre Cadena</b>	$P_c = 0,0021 * Q$	$P_c = 0,0058 * Q$
<b>Material Deslizante</b>	$P_c = 0,0037 * Q$	$P_c = 0,0071 * Q$
<b>Cadenas de Eje Hueco</b>	Incrementar los Factores de Corrección en un 42 %	

Tabla 4.2. Coeficiente Correctivo debido a Condiciones de Trabajo y Mantenimiento  $C_1$

Condiciones de Engrase			
Ambiente	Normal	Periódico	Sin Engrase
<b>Limpio</b>	1	1,3	1,6
<b>Sucio</b>	1,3	1,6	1,8
<b>Abrasivo</b>	1,6	1,8	2

Tabla 4.3. Coeficiente Correctivo por Tiempo Trabajo  $C_2$ 

Periodo de Trabajo Diario		
Tipo de Carga	0-8 Horas	$\geq 8$ Horas
Continua	1,1	1,2
Discontinua	1,2	1,4
Con Sacudidas	1,5	1,8

Se considera con Sacudidas cuando las paradas y arranques superan el 20% del tiempo.

#### *Cálculo del Desnivel entre Ejes*

*De la Ec 2.3*

$$t = 5 \text{ m}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$D = 5 \text{ m}$$

#### *Cálculo de N*

*De la Ec 2.2*

$$N = (P_e + P_b + P_s)/10$$

$$N = 7,2 \text{ kg/m}$$

*Entonces*

$$Q_t = 80 \text{ kg/m}$$

#### *Cálculo del Peso de la Cadena $P_c$*

*Según la Tabla 4.1*

$$P_c = 0,0058 * Q_t$$

$$P_c = 0,5 \text{ Kg/m}$$

**Cálculo de Tracción Máxima  $T_t$** *De la Ec 2.1*

$$T_t = 5 \cdot (0,46 + 7,96)$$

$$T_t = 43 \text{ kg}$$

**Cálculo de Tracción Real  $T_r$** *Según la Tabla 4.2 y 4.3*

$$C_1 = 1,8$$

$$C_2 = 1,5$$

$$T_r = C_1 \cdot C_2 \cdot T_t \quad \text{(Ec 2.4)}$$

*De la Ec 2.4*

$$T_r = 113,7 \text{ kg (Carga de Rotura)}$$

Este valor de  $T_r$  se multiplica por un factor de aplicación  $k_r$  por la tracción adicional en el arranque.

$$k_r = 2 \quad T_{rm} = T_r \cdot k_r$$

$$T_{rm} = 227,4 \text{ Kg}$$

Luego de haber calculado la Carga de Tracción Real, podemos seleccionar la cadena apropiada para la aplicación por medio de sus especificaciones técnicas.

Cuando nos dirigimos a la tabla de cadenas tipo cangilón (Anexo "A"-A9), la cadena con la designación más baja tiene una carga de rotura de 2500 Kg, por lo que podemos seleccionar una cadena con las mismas especificaciones o más bajas.

El factor de seguridad conveniente para las cadenas de transporte está entre 8 y 10 aplicado en la carga de rotura, por lo que la cadena debe cumplir con esta condición de diseño.

$$n_1 = 8$$

$$T_{rmd} = 1819,2 \text{ kg}$$

$$F_{rmd} = 18192 \text{ N}$$

*Obteniéndose de almacén en existencia, seleccionamos la Cadena ISO 20B-Sencilla de paso 1<sup>1/4</sup>" que cumple con las condiciones necesarias para nuestra aplicación. (Ver Anexo "A"-A10).*

***Re Calculando la Tracción Máxima Real***

Luego de seleccionar la cadena, re calculando la tracción máxima real, tenemos que;

$$P_c = 3,72 \text{ kg/m (Ver Anexo "A"-A9)}$$

$$T_{rm}' = 315,4 \text{ kg}$$

$$F_{rm} = 3090,6 \text{ N}$$

$$n_2 = 2$$

$$F_{rm}' = 6181,8 \text{ N}$$

### 4.1.3. Cálculo de la Velocidad de la Cadena

#### Restricción de la Velocidad de la Cadena

El tiempo máximo del procedimiento de sondeo, debe ser menor a 45 segundos ya que de otra manera la lanza de medición se fundirá dentro del horno, por lo tanto el carro de transporte debe bajar y subir la barra en dicho tiempo.

$$t \leq 45 \text{ s.}$$

$$\text{Carrera} = 4,5 \text{ m}$$

$$V_{C_{min}} = 0,2 \text{ m/s}$$

Para una Cadena *ISO 20B-Sencilla* mencionada anteriormente y seleccionando 13 dientes para las ruedas dentadas, tenemos que,

$$N_c = 13$$

$$P = 31,75 \text{ mm}$$

$$\text{Sen } \frac{\gamma}{2} = \frac{\frac{p}{2}}{\frac{D}{2}} \quad \text{o} \quad D = \frac{p}{\text{sen} \left( \frac{\gamma}{2} \right)} \quad (\text{Ec 2.5})$$

De la Ec 2.5

$$D = 132,6 \text{ mm}$$

Para cumplir con la restricción antes impuesta

$$V_{C_{min}} = 0,2 \text{ m/s} = 39,36 \text{ ft / min}$$

$$V_c = \frac{N_c p n}{12} \quad (\text{Ec 2.7})$$

De la Ec 2.7

$$n_{min} \geq 36 \text{ rpm}$$

**4.1.4. Selección de Motor****Torque**

$$T = F * b \quad (\text{Ec 4.1})$$

Donde;

*T*: Torque [N.m]

*F*: Fuerza Umbral de Desplazamiento Promedio [N]

*b*: Brazo [m]

La Tracción máxima real soportada por la rueda dentada del sistema de cadena que se instalara para el traslado del carro de transporte es:

$$T_{rm}' = 315,4 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad F_{rm} = 3090,6 \text{ N}$$

Ya que el *Diámetro Perimetral* de la rueda dentada es de 148 mm, entonces

De la Ec 4.1

$$F = 3090,6 \text{ N}$$

$$b = 0,074 \text{ m}$$

$$T = 228,7 \text{ N.m}$$

**Para esta selección del motor, se limita a los motores en existencia del almacén de la Empresa Loma de Níquel y se selecciona un motor reductor con las siguientes especificaciones:**

**Motor Reductor**

SEW EURODRIVE

Tipo: R57-DT8QN4

Ma = 540 N.m

n = 39 rpm

Pot = 0,75 Kw = 1 hp (Ver Anexo "A"-A11)

Ya que el motor esta acoplado a un reductor, este multiplica el torque por la relación de velocidades y se puede notar que el torque de salida es mucho más alto



que el requerido además la velocidad de salida también cumple con la restricción de velocidad impuesta anteriormente en la sección 4.1.3.

En el caso de un trabamiento del motorreductor, la máquina debe estar protegida de no colocar en riesgo de sobretensión las piezas que sean vulnerables a fallar al momento de recibir un torque mucho mayor a la de diseño, la cual el motorreductor es capaz de generar.

Aunque todos los elementos de la máquina que estarán sometidos a tensiones o fuerzas por el accionamiento de la misma serán calculadas con factores de seguridad que garanticen su confiabilidad de operación, el motorreductor tendrá a su disposición un sistema de protección el cual se encontrará en un equipo inteligente que sirve de interfaz entre él y la red Profibus DP donde entra en funcionamiento el PLC "Control Lógico Programable".

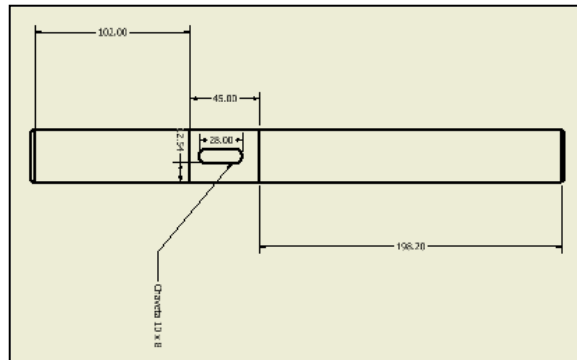
Este sistema inteligente se le llama Simocode, que cuenta con un contactor principal para energizar el sistema y una tarjeta inteligente que monitorea el amperaje exigido por el motor en su operación, además de mantenerlo entre rangos de valores parametrizables en la instalación, que garantizan que el motorreductor no entre en condiciones de sobrecarga, calentamiento o supere valores de corriente y torque que puedan afectar los componentes asociados al sistema de transmisión del equipo.

**4.1.5. Diseño del Eje Superior**

Para el diseño del eje, seleccionamos un tocho de acero 4340, que se encuentra a nuestra disposición en el almacén de la planta Loma de Níquel el cual nos favorece bastante para nuestro diseño por sus excelentes propiedades.

**Material de Eje:** Acero AISI 4340

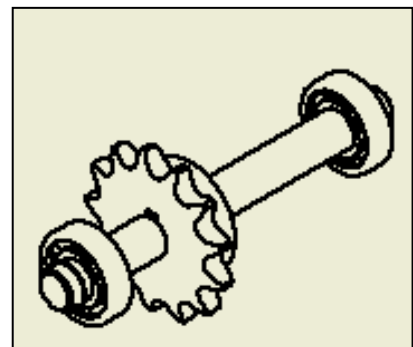
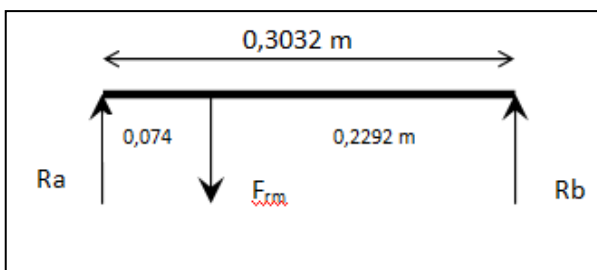
$S_y = 1470 \text{ Mpa}$  (Ver Anexo "A"-A7)  
 $S_{ut} = 1360 \text{ Mpa}$



**Fig.4.3. Eje Superior Del Sistema de Transmisión**

**Análisis de Fuerzas**

En los planos XY y XZ no hay fuerzas presentes, por lo que solo se estudiarán las fuerzas en el plano YZ



Si tenemos que:

$$F_{rm} = 3090,5 \text{ N}$$

$$n_2 = 2$$

$$F_{rml} = 6181 \text{ N}$$

Fig. 4.4. Esquema del Eje Superior

En el Plano YZ

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{a_y} + R_{b_y} - F_{rml} = 0 \quad (4.2)$$

$$\sum M_y = 0$$

$$- F_{rml} * (0,074) + R_{b_y} * (0,3032) = 0 \quad (4.3)$$

Despejando de las Ec 4.2 y 4.3

$$R_{b_y} = 1508,56 \text{ N}$$

$$R_{a_y} = 4672,48 \text{ N}$$

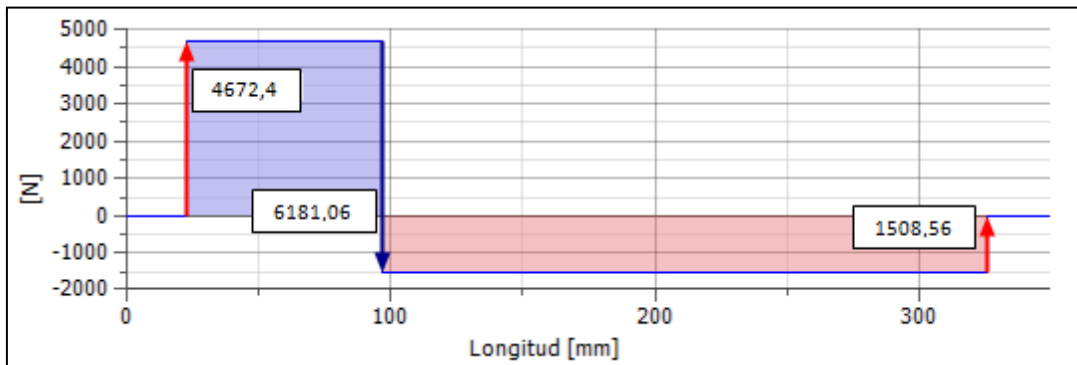


Fig. 4.5. Diagrama de Esfuerzo Cortante

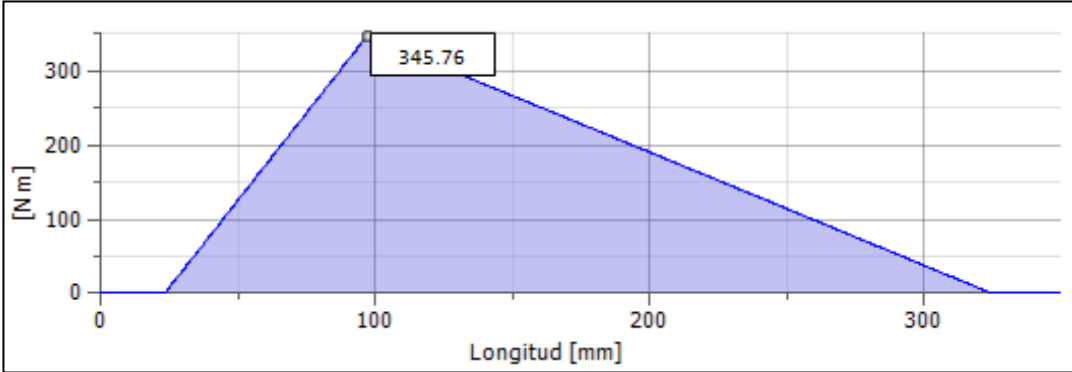


Fig. 4.6. Diagrama de Momento Flector

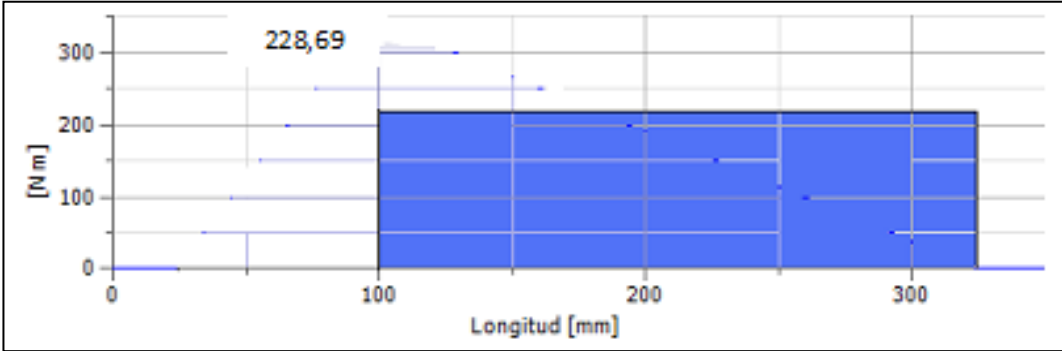


Fig. 4.7. Diagrama de Torsión

### Cálculo del Diámetro del Eje

En el plano XZ no se encuentran fuerzas ni momentos aparentes. Seleccionando el punto donde el momento flexionante es más alto debido a que estamos en presencia de una concentración de esfuerzos en el chavetero, además de ser el elemento de transición de torque del eje a la rueda dentada. Tenemos que;

$$Ma = 345,8 \text{ N.m}$$

$$Tm = 228,7 \text{ N.m}$$

Ya que el eje estará en presencia de flexión y torsión constantes, sabemos que  $Mm = Ta = 0$ . Por lo tanto la ecuación para el cálculo será la mencionada en el capítulo II.

#### *Teoría de Corte de Goodman Modificado*

$$d = \left\{ \frac{16 \cdot n_3}{\pi} \left( \frac{2 \cdot (k_f \cdot Ma)}{S_e} + \frac{[3 \cdot (k_{fs} \cdot Tm)^2]^{\frac{1}{2}}}{S_{ut}} \right) \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec 2.13})$$

*Para una primera aproximación*

$$k_f = k_t$$

$$k_{fs} = k_{ts}$$

Suponiendo un filete cortados con fresas mecánicas de radio de fondo  $r$  y relación  $r/d = 0,02$ , los concentradores de esfuerzos pertinentes para la ranura del chavetero serán:

$$k_t = 2,14$$

$$k_{ts} = 2,62$$

*De la Ec 2.10*

$$S'_e = 680 \text{ Mpa}$$

*Donde,*

$$b = -0,265 \text{ (Ver Anexo "A"-A1)}$$

$$a = 4,51$$

$$K_a = 0,66$$

$$K_b = 0,53$$

El  $K_c$  es el factor de carga y dependerá del tipo de carga aplicada en el eje. En este caso el valor es igual a 1 por estar sometido a una carga de flexión.

El  $K_d$  es el factor de temperatura, en este caso es igual a 1, ya que el eje no será sometido a altas temperaturas.

El  $K_e$  es el factor de efectos diversos. Se asumirá que es igual a 1 ya que este factor considera los puntos de concentración de esfuerzo, los cuales ya han sido tomados en cuenta en el factor  $K_f$ . se puede suponer que:

$$k_c = k_d = k_e = 1, \text{ para una primera aproximación se tiene que:}$$

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f * S'_e \quad (\text{Ec 2.11})$$

De la Ec 2.11

$$S_e = 241 \text{ Mpa}$$

$$d = 0,035574 \text{ m}$$

$$d = 35,57 \text{ mm}$$

**Para la aplicación se selecciona como el diámetro de la sección del eje donde estará la rueda dentada,**

$$d = 35 \text{ mm}$$

**Y para los extremos donde estarán los rodamientos, para el soporte lado Fijo se selecciona  $d + H7/p6$  (Ajuste Interferencia) y lado libre  $d + H11/c11$  (Ajuste Deslizante). Ver Anexo A - A30.**

#### **Análisis de Esfuerzos Cortantes**

*Del motor seleccionado en la sección 4.4, sabemos que,*

$$T = 540 \text{ N.m}$$

*Y si el diámetro del eje es,*

$$d = 35 \text{ mm} \longrightarrow c = 0,0175 \text{ m}$$

De la literatura (Shigley 2008) tenemos que,

**Momento Polar de Inercia de un Eje Macizo**

$$J = \pi * D^4 / 32 \quad (\text{Ec 4.4})$$

Para calcular el Esfuerzo Torsional Cortante

De la Ec 4.4

$$J = 147323,5 \text{ mm}^4$$

De la Ec 2.14

$$\tau_{max} = 64,2 \text{ N/mm}^2 = 64,2 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo cortante torsional máximo se presenta en la superficie externa del eje alrededor de toda su circunferencia.

Nótese también que el valor obtenido en comparación con la resistencia de los Aceros AISI 4340 son muy bajos, por lo que el eje no fallará por esfuerzo de corte.

### Cálculo de la Cuña del Eje

Se fabricará una cuña en la fresa semejante a una cuña *DIN 6885B* de Caras Paralelas con un acero *AISI 4340*.

$$S_y = 1470 \text{ Mpa}$$

**Para un diámetro del eje  $d = 35 \text{ mm}$**

$$w = 10 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm (Ver Anexo "A"-A12)}$$

Del motor sabemos que

$$T = 540 \text{ N.m}$$

De la Ec 2.15

$$F = 30857,2 \text{ N}$$

De la Ec 2.16

$$S_{sy} = 848,2 \text{ Mpa}$$

$$\frac{S_{sy}}{n} = \frac{F}{wl} \quad \text{(Ec 2.17)}$$

De la Ec 2.17

$$l = 9,2 \text{ mm}$$

Debido a que la longitud de la cuña resulto muy pequeña, se tomará un valor más apropiado para ensamblaje del eje de  $l = 28 \text{ mm}$

#### 4.1.6. Selección de Rodamientos

##### Selección de Rodamientos Soportes del Eje Superior

Para seleccionar el rodamiento se deben cumplir algunas condiciones de diseño y seguir una serie de pasos.

*Carga Radial*

$$F_D = Ra_y = 4672,5 \text{ N}$$

El diámetro interno del rodamiento, deberá ser de 35 mm, ya que este diámetro fue el seleccionado en el cálculo del diámetro del eje, realizado anteriormente.

***Diámetro Interno del rodamiento: 35 mm***

Ya que la carga es puramente radial y debido al diseño los rodamientos serán de difícil alcance por lo que necesitarán poco mantenimiento. Esto nos lleva a seleccionar.

Del Catálogo de FAG (Anexo "A"-A13)

**Rodamiento de Bola de Hilera Única y Sellado sin Lubricación**

**Rodamiento FAG 6307 - 2Z**

Nota: Si hay en existencia en almacén.

Para los valores operativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquina (Ver Anexo "A"-A14)

*Máquina de Operación Corta o Intermitente*

$$L_D = 6000 \text{ horas}$$

Tipo de Operación (Ver Anexo "A"-A15)

*Maquinaria con Impactos Ligeros*

$$\text{Factor de Carga Radial} = 1,2$$

$$P = F_D * 1,2$$



$$P = 5607 \text{ N}$$

De las especificaciones del catálogo de FAG (Ver Anexo "A"-A13), podemos tomar los siguientes valores:

$$C_0 = 19 \text{ kN}$$

$$C_{10} = 35,1 \text{ kN}$$

#### ***Ecuación de Vida del Rodamiento***

$$L_{10} = P*(L*n*60)^{1/a} \text{ (Ec 4.5)}$$

*Donde;*

*Confiabilidad del 90%*

*a = 3, para Rodamiento de Bolas*

La compañía SKF califica sus rodamientos para  $10^6$  revoluciones, por lo tanto  $L_{10}$  es  $60 * L_R * n_R = 10^6$  revoluciones

*Por lo que, de la Ec 2.20*

$$L_D = 6000 \text{ h}$$

$$P = 5,6 \text{ kN}$$

$$n_D = 39 \text{ rpm}$$

$$C_{10R} = 13,5 \text{ kN}$$

Podemos observar que el rodamiento seleccionado, cumple con nuestros requerimientos de Carga Dinámica cómodamente.

*Ahora calculando la vida del rodamiento FAG 6307 - 2Z de la Ec 4.5, donde:*

$$C_{10} = 35,1 \text{ kN}$$

$$L_D = L_{10}$$

$$L_{10} = 104.669 \text{ h}$$

**Nótese que el valor de las horas es mucho mayor que las requeridas, por lo que este rodamiento aplica para el diseño.**

Para el montaje de los rodamientos, se usará una chumacera que se encuentra en existencia en almacén del catálogo SKF, Soporte SNL-508-607 para rodamientos de  $D_I = 35 \text{ mm}$  y  $D_E = 80 \text{ mm}$ .

### Selección de los Rodamientos para las Ruedas Guías del Carro Transportador

Siguiendo el Procedimiento Anterior

*Carga Radial*

$$F_D = F_I = 992,9 \text{ N}$$

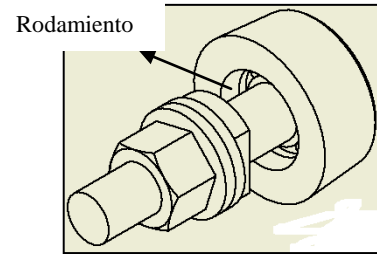


Fig. 4.8. Esquema de la Rueda Guía

El diámetro interno del rodamiento deberá ser de 20 mm, ya que este diámetro fue el seleccionado para el diseño.

*Diámetro Interno del rodamiento: 20 mm*

Debido a la alta contaminación que se encuentra en el área de trabajo del equipo, seleccionamos

Del Catálogo de FAG (Anexo "A"-A16)

**Rodamiento de Bola de Hilera Única y Sellado sin Lubricación**

**Rodamiento FAG 6004 - 2Z**

Nota: Si hay en existencia en almacén.

Para los valores operativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquina (Ver Anexo "A"-A14)

*Máquina de Operación Corta o Intermitente*

$$L_D = 6000 \text{ horas}$$

Tipo de Operación (Ver Anexo "A"-A15)

*Maquinaria con Impactos Ligeros*

*Factor de Carga Radial = 1,2*

$$P = F_D * 1,2$$

$$P = 1429,7 \text{ N}$$

De las especificaciones del catálogo de FAG (Ver Anexo "A"-A16), podemos tomar los siguientes valores:

$$C_0 = 5 \text{ kN}$$

$$C_{10} = 9,95 \text{ kN}$$

*Entonces de la Ec 2.20*

$$L_D = 6000 \text{ h}$$

$$P = 1,19 \text{ kN}$$

Calculamos la frecuencia de giro de la rueda guía, tomando la longitud de arco de la rueda entre la longitud máxima que debería recorrer (8 m) en el tiempo máximo de operación del procedimiento de sondeo.

$$n_D = 54 \text{ rpm}$$

$$C_{10R} = 5,1 \text{ kN}$$

Podemos observar que el rodamiento seleccionado, cumple con nuestros requerimientos de Carga Dinámica cómodamente.

*Calculando la Vida del Rodamiento FAG 6004 - 2Z*

*De la Ec 4.5*

$$C_{10} = 9,95 \text{ kN}$$

$$L_D = L_{10}$$

$$L_{10} = 44.326 \text{ h}$$

**Las horas de vida nominal del rodamiento resultaron mucho mayor que las requeridas, por lo que podemos concluir que el rodamiento seleccionado si aplica para nuestro diseño.**

## 4.2. Sistema de Transporte

### 4.2.1. Fuerza de Resistencia de la Costra de Escoria

Para el cálculo de la fuerza de resistencia de la escoria superficial del baño, se realizó una prueba experimental con un operador "Richard Díaz" con experiencia en el procedimiento de sondeo donde se hizo una simulación de la fuerza aplicada por él, cuando realiza esta actividad. Esta prueba consistió en colocar al operador a golpear una balanza de masa con la lanza de medición. Ya que todos los operadores tienen la capacidad de atravesar la costra de escoria hasta en la condición más desfavorable (Superficie Dura), esto garantiza que la fuerza hombre es capaz de introducir la lanza de medición en el horno en cualquier condición, por lo que asegura que la máquina cumpla con esta limitante.



**Fig. 4.9. Prueba en la Balanza**

**Marcador de la Balanza:** 47 kg

$F_{costra} = 466 \text{ N}$ , Suponiendo que el operador golpeo la balanza con una velocidad aproximada de 3 m/s

*Velocidad Conveniente Seleccionada*  $V_c = 0,22 \text{ m/s}$

$$n_5 = 2$$

$$F_{costra2} = 932 \text{ N}$$

4.2.2. Análisis de Fuerzas en el Carro de Transporte

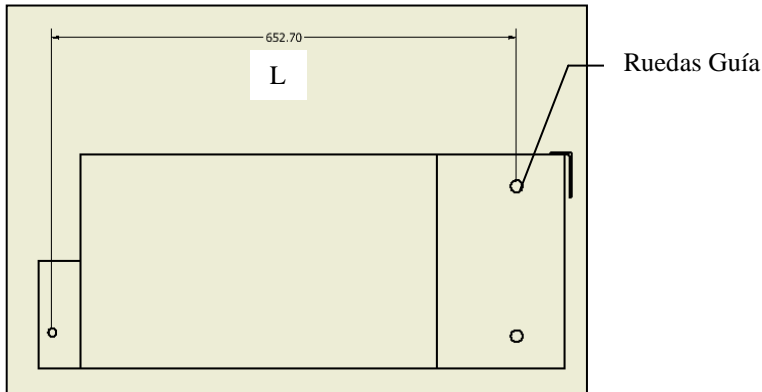


Fig. 4.10. Distribución de Fuerzas Lateral

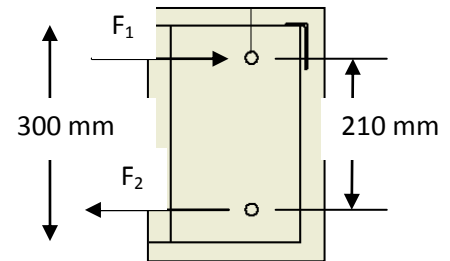
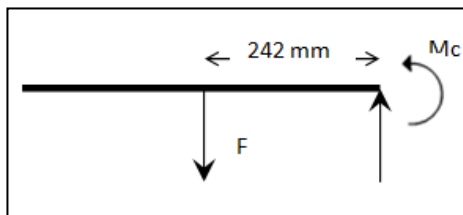


Fig. 4.11. Carro de Transporte (Vista Lateral)

Primer Caso de Estudio (Movimiento de Subida luego de Salir del Baño)



Fuerza Resultante

$$P = 780,1 \text{ N}$$

$$Mc_1 = 188,8 \text{ N.m}$$

$$Mc_1' = Mc / 2$$

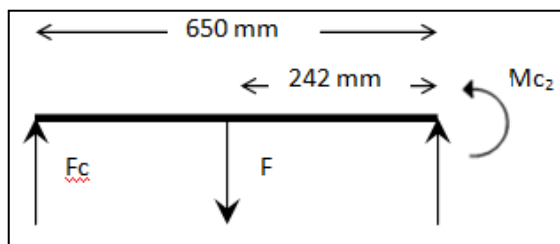
$$Mc_1' = 94,4 \text{ N.m}$$

$$Mc_1' = (F_1 + F_2) * (0,21 / 2)$$

$$F_1 + F_2 = 898,9 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 = 449,5 \text{ N}$$

Segundo Caso de Estudio (Movimiento de Bajada Golpeando la Superficie de Escoria)



$$F = 780,1 \text{ N}$$

$$Fc = -932 \text{ N}$$

$$Mc_2 = 188,8 \text{ N.m} - 605,8 \text{ N.m}$$

$$Mc_2 = - 417 \text{ N.m}$$

***Fuerza Resultante***

$$P = Mc_2/0,65 = 642 \text{ N}$$

$$Mc_2' = - 208,5 \text{ N.m}$$

$$Mc_2' = (F_1 + F_2) * (0,21 / 2)$$

$$F_1 + F_2 = - 1985, 7 \text{ N}$$

$$F_1 = F_2 = - 992, 9 \text{ N}$$

### 4.2.3. Dimensionamiento de la Estructura Madre

Para la estructura base, se tomó la decisión a nivel de diseño de usar una Viga HEB 200x200 (Ver Anexo "A"-A4) la cual soportará las fuerzas de compresión y momentos flectores generados por la operación del equipo, específicamente cuando el carro de transporte porta lanza se desplace por los rieles soldados lateralmente de la Viga Madre.

La Viga estará posicionada tal como muestra la Figura 4.12.

Para el caso más desfavorable se obtiene que:

$$Mc = 417 \text{ N.m}$$

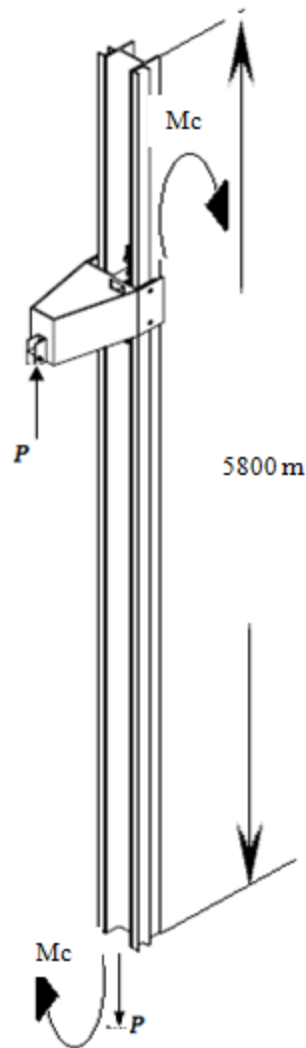


Fig. 4.12. Diagrama de Fuerzas en la Estructura de la Máquina



#### ***4.2.4. Cálculo de la Resistencia a la Rodadura en las Ruedas Guías***

##### **Cálculo de la Fuerza de Rodadura**

Sabiendo que en nuestro diseño la rodadura que encontramos, se encuentra en las guías del carro de transporte y ya que se ha determinado que su desplazamiento será por unas ruedas a través de unas guías de acero, que serán unos perfiles UPN 80 (Anexo "A"-A3) se puede asociar este escenario con el de "Ruedas de Ferrocarril sobre Rieles de Acero" (Ver Anexo "A"-A17).

*Por lo tanto*

$$0,0002 \leq C_{rr} \leq 0,0010$$

*De la Sección 4.2.2. "Análisis de Fuerzas en el Carro de Transporte"*

$$N = F_l = 992,9 \text{ N}$$

Tomando el valor del coeficiente de rodadura, para la condición más desfavorable, tenemos de la Ec 2.24.

$$F_{min} \geq 0,992 \text{ N}$$

***Se puede notar que el valor de la fuerza de resistencia a la rodadura es muy baja, despreciable frente a las magnitudes de las otras fuerzas encontradas en el sistema.***

#### 4.2.5. Análisis de Esfuerzos y Deformación en el Tensor de la Cadena

##### Análisis de Esfuerzos

El Tensor de la Cadena es la pieza que acoplará el carro de transporte con la cadena de rodillos. Fue diseñada de modo de poder ajustar la tensión de la cadena de una forma versátil de fijación con roscas y tuercas, además de cumplir con la función de acoplar el sistema de transmisión por cadenas del equipo al carro de transporte de la lanza de medición.

El Tensor de la Cadena estará sometido a una carga axial producida por la tensión necesaria para mantener la alineación y el buen funcionamiento de la cadena en el sistema de transporte.

(Shigley-2008) Debido a que el esfuerzo se puede definir como,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec 4.6})$$

Donde,

$\sigma$  = Esfuerzo Resultante

$F$  = Fuerza Aplicada

$A$  = Área de la sección transversal de la pieza

De la Ec 4.4

$F = 6181 \text{ N}$

$A = 314,2 \text{ mm}^2$

$\sigma = 19,7 \text{ Mpa}$

Con este resultado, podemos determinar que no encontraremos una fractura con la sollicitud máxima de la pieza ya que el Esfuerzo de Tensión del acero AISI 4140 es  $S_u = 655 \text{ Mpa}$ , (Ver Anexo "A"-A6) mucho mayor al esperado en la operación del equipo.

#### 4.2.6. Análisis de Deformación en el Tensor de la Cadena

Teniendo en cuenta que esta pieza será fabricada con un acero AISI 4140 su Modulo de Elasticidad al igual que todos los aceros es  $200 \text{ GPa}$ .

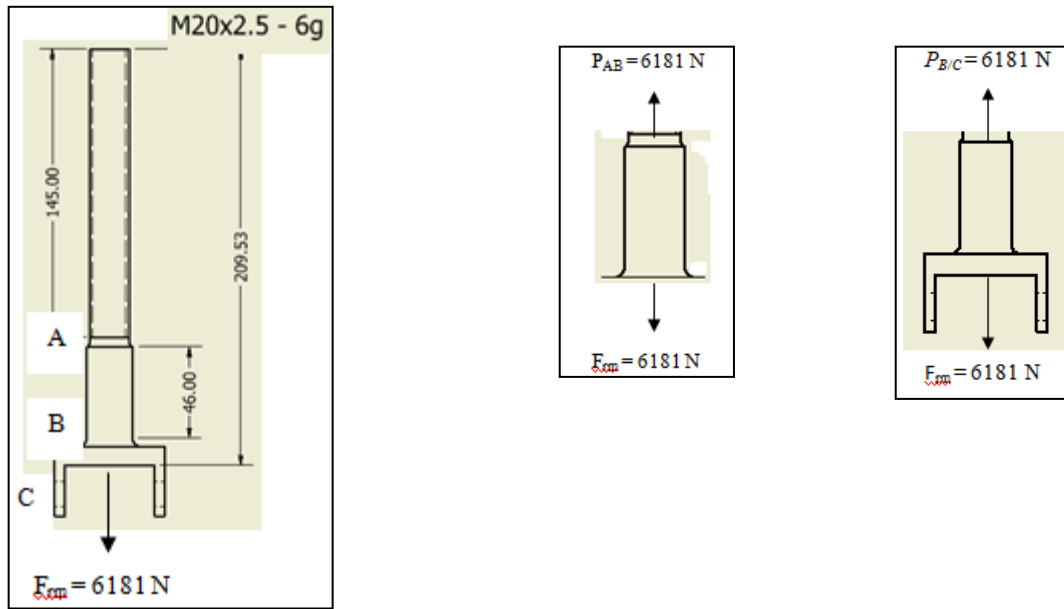


Fig. 4.13. Diagramas de Cuerpo Libre de la Pieza de Acople de la Cadena

#### Fuerzas Internas

Debido a la aplicación de las cargas externas, las fuerzas axiales internas en las regiones AB y BC serán iguales. Las fuerzas se obtienen aplicando el método de las secciones y la ecuación de equilibrio por fuerza vertical Figura 4.13.

#### Desplazamiento

Tomamos  $E = 200 \text{ GPa}$ . Usando la convención de signos, las fuerzas de tensión son positivas y las de compresión son negativas.

**Desplazamiento vertical de B con respecto a A.**

Donde,

$\delta$ : Desplazamiento

$L$ : 46 mm

$P$ : 6181 N

$A$ : 314,2 mm<sup>2</sup>

$E$ : 200 GPa = 200000 N/mm<sup>2</sup>

De la Ec 2.31

$$\delta = + 0,00452 \text{ mm}$$

**Desplazamiento vertical de C con respecto a B.**

Donde,

$\delta$ : Desplazamiento

$L$ : 9,525 mm

$P$ : 6181 N

$A$ : 1650 mm<sup>2</sup>

$E$ : 200 GPa = 200000 N/mm<sup>2</sup>

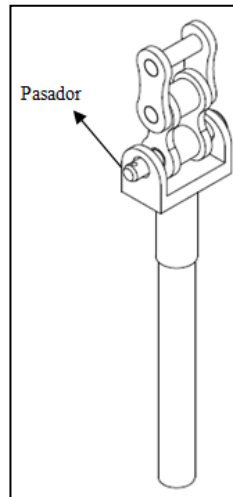
De la Ec 2.31

$$\delta = + 0,000178 \text{ mm}$$

Por lo tanto el desplazamiento del punto C será,

$$\delta = + 0,0047 \text{ mm}$$

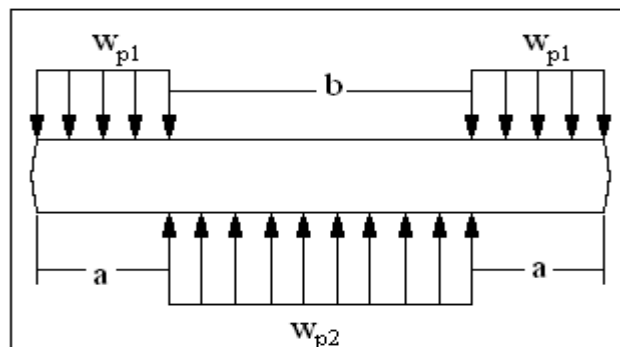
#### 4.2.7. Análisis de Esfuerzos en el Pasador



**Fig. 4.14. Esquema de Tensor de la Cadena**

Se utilizarán pasadores macizos con un diámetro de 3/8" ( $d_{pas}$ ) para fijar los vínculos entre el último eslabón de la cadena por la parte superior del Carro de Transporte y el Tensor de Acople. De Igual forma se fijará la parte inferior:

La carga a soportar por los pasadores 1 y 2 es la fuerza  $F_{sm}$  que debe transmitir la tensión en el sistema de cadenas de transporte vertical. Esta fuerza es igual a 6181 N y será la máxima carga que tendrán que soportar los pasadores de este sistema. Así se plantea:



**Fig. 4.15. Diagrama de Cuerpo Libre del Pasador**

En la Figura 4.15 se observa la configuración de fuerzas sobre los pasadores 1 y 2, donde  $W_{p2}$  es una carga uniforme aplicada en el centro por acción de la tensión que solicita el eslabón de acople de la cadena y  $W_{p1}$  es otra carga uniforme causada por la reacción en las extremidades del pasador ya que este posará sobre la pieza de Acople (Tensor de Acople)

La fuerza cortante máxima para este sistema viene dada por:

$$V_{\max\_pas} = W_{p1} * a \quad (\text{Ec 4.7})$$

Que no es más que la fuerza resultante de la carga uniforme  $W_{p1}$ , y ésta a su vez es igual a:

$$W_{p1} * a = \frac{P}{2} = 3090,5 \text{ N} = V_{\max\_pas}$$

Utilizando la teoría del esfuerzo cortante máximo (Shigley-2008), se calcula el esfuerzo máximo sobre el pasador, según la expresión:

$$\tau_{\max} = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} = \frac{4}{3} * \frac{3090,5 \text{ N}}{\frac{\pi * (9,525 \text{ mm})^2}{4}} = 57,8 \text{ Mpa}$$

Donde  $A_{pas}$  es el área de la sección transversal del pasador. Ahora, se calcula el esfuerzo cortante permisible que proporciona el (Shigley-2008), tenemos que:

$$\tau_{perm} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \sqrt{\left(\frac{S_y}{n_s}\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} * \sqrt{\left(\frac{414}{2}\right)^2} = 119,5 \text{ Mpa}$$

El esfuerzo cortante permisible supera al esfuerzo máximo encontrado en el pasador, garantizando que ninguno de los pasadores fallará.

#### 4.2.8. Análisis de Pandeo en Columnas

##### Cálculo de Pandeo en la Lanza de Medición

Lanza de Medición

Tubo Conduit Galvanizado de 1/2"

$S_y = 25000 \text{ psi} = 172,3 \text{ Mpa}$

% elongación = 23%

$D_{ext} = 0,820" = 20,8 \text{ mm}$

$D_{int} = 1/2" = 12,7 \text{ mm}$

$$A = \left( \frac{\pi * 20,8^2}{4} - \frac{\pi * 12,7^2}{4} \right) = 213,1 \text{ mm}^2$$

Entonces, Calculando la relación de esbeltez para el dicho tamaño

$$\frac{l}{k} = 769,23$$

Para estar más seguros de que se trata de una columna de Euler se emplea la Ec 2.29, con lo que se obtiene:

$$\frac{l}{k} = 77$$

De la Ec 2.28 se tiene que:

$$\frac{P_{cr}}{213,1} = \frac{\frac{1}{4} \pi^2 207 * 10^3}{(769,2)^2} = 184 \text{ N}$$

*Por lo tanto, ya que la fuerza esperada por la resistencia de la costra de la escoria en la lanza de medición es  $F_{costraM} = 466 \text{ N}$ , se tendrá que realizar una modificación en la punta de la lanza, para disminuir el área de contacto y por consiguiente la resistencia de la costra a la penetración.*

*Ya que la lanza de medición de la máquina es simplemente un tubo, se le hará un corte biselado en la punta y de este modo evitar la flexión en ella.*

### 4.3. Análisis y Selección de los Sujetadores del Equipo

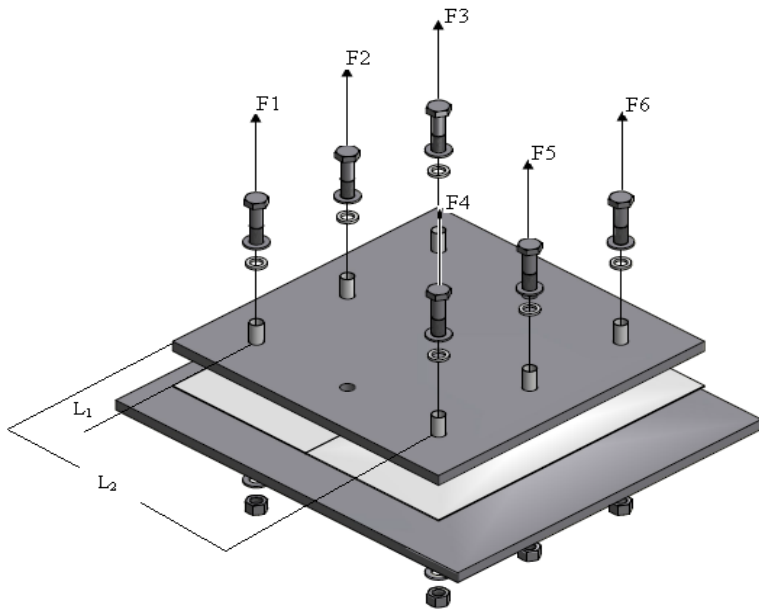


Fig. 4.16. Diagrama de Fuerzas en la Base de la Máquina

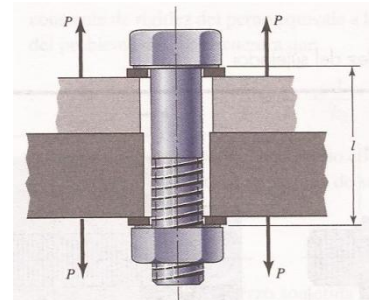


Fig. 4.17. Esquema de fijación de un Perno Hexagonal (fuente: *Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008*)

#### 4.3.1. Cálculo de los Sujetadores de la Base

El momento  $M_c$  que se encuentra reaccionando en la base de la Viga Madre, deberá ser disipado por la fijación de la base, que en nuestro caso será una fijación apernada para de este modo facilitar el desmontaje del equipo si se debiera realizar un mantenimiento en la bóveda del horno donde estará instalado el equipo.

De la Figura 4.16, resulta que del diagrama de fuerzas mostrado:

$$F_A'' = F_1'' = F_2'' = F_3''$$

$$F_B'' = F_4'' = F_5'' = F_6''$$



Se plantea el siguiente sistema de ecuaciones

$$\left\{ \begin{array}{l} P * L = M_c = 3 * (F_A'' * L_1) + 3 * (F_B'' * L_2) \quad (\text{Ec 4.8}) \\ \sum F'' = P = 3 * F_A'' + 3 * F_B'' \quad (\text{Ec 4.9}) \end{array} \right.$$

Donde,

$$M_c = 417 \text{ N.m}$$

$$P = 642 \text{ N}$$

$$L = 0,65 \text{ m}$$

$$L_1 = 0,11 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,59 \text{ m}$$

Resolviendo el Sistema de Ecuaciones tenemos que:

$$F_A'' = 27 \text{ N}$$

$$F_B'' = 187 \text{ N}$$

Se decide usar para esta aplicación Tornillos de Cabeza Hexagonales, clases métricas M24, de Grado 8.8 (Ver Anexo "A"-A18).

$$\sigma_A = \frac{F_A''}{A_t} = \frac{27 \text{ N}}{\frac{\pi * (24 \text{ mm})^2}{4}} = 0,059 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_B = \frac{F_B''}{A_t} = \frac{187 \text{ N}}{\frac{\pi * (24 \text{ mm})^2}{4}} = 0,4133 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_B = 0,4133 \text{ Mpa} \lllll \frac{S_p}{n} = \frac{600 \text{ Mpa}}{n}$$

Por lo tanto, el Factor de Seguridad  $n \ggggg 1$

### 4.3.2. Par Torsional de Apriete

La carga de sujeción se crea en la perno o el tornillo al ejercer un par torsional de apriete sobre la tuerca o sobre la cabeza del tornillo. Una relación aproximada entre el par torsional y la fuerza de tensión axial del perno (La Fuerza de Sujeción) es

$$T = KDP \quad (\text{Ec 4.10})$$

Donde;

*T: Torque*

*D: Diámetro Exterior Nominal de la Rosca*

*P: Carga de Sujeción*

*K: Constante que Depende de la Lubricación Presente*

Para las condiciones comerciales promedio, se maneja  $K = 0,15$  si existe alguna lubricación. Aun los fluidos de corte, u otros depósitos residuales en las roscas, producirán las condiciones consistentes con  $K = 0,15$ . Si las roscas están bien limpias y secas,  $K = 0,20$ . Naturalmente esos valores son aproximados, y cabe de esperar que existan variaciones entre conjuntos aparentemente idénticos.

$$D = 0,024 \text{ m}$$

$$P = 642 \text{ N}$$

$$K = 0,15$$

De la Ec 4.10 se tiene que:

$$T = 2,3 \text{ N.m}$$

Este es el valor del Torque mínimo necesario para resistir la tensión axial de las fuerzas resultantes en los pernos, debido al par que se genera en la base de la estructura, pero migrando a los valores estándar de fijación de Tornillos Hexagonales Métricos (Ver Anexo "A"-A19) mencionan que el torque de apriete para el tornillo de esta designación, debe ser,

$$T = 820 \text{ N.m}$$

**4.4. Selección del Contactor Principal**

Luego de haber seleccionado el motorreductor, se debe seleccionar el contactor principal que se encargara de accionar la alimentación del motor.

Según Schneider Electric, de la Tabla del Anexo "A"-A27, tenemos que la corriente nominal del motor sería  $I_c = 1,68$  A. Por lo tanto, entrando en la Tabla 4.4. Con la corriente de corte AC-3, tenemos que,

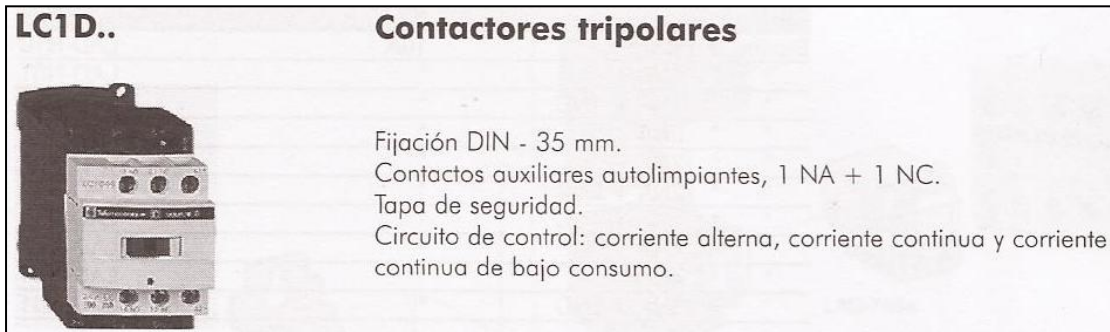
**Tabla 4.4. Contactores TeSys Serie D**

Potencia 440V		Corriente En AC-3 440V		Referencias
kW	HP	hasta		
4	5,5	9A		LC1-D09*
5,5	7,5	12A		LC1-D12*
9	12	18A		LC1-D18*
11	15	25A		LC1-D25*
15	20	32A		LC1-D32*
18,5	25	38A		LC1-D38*
22	30	40A		LC1-D40*
30	40	50A		LC1-D50*
37	50	80A		LC1-D65*
45	60	95A		LC1-D80*
45	60	95A		LC1-D95*
55	75	115A		LC1-D115*
75	100	150A		LC1-D150*

Nota: Reemplazar los asteriscos por la bobina deseada.

LC1-D09...D150 (bobinas D115 y D150 antiparasitadas de fábrica)									
Vac.	24	48	110	220	240	380	440		
50/60Hz	B7	E7	F7	M7	U7	Q7	R7		
LC1-D09...D95 (bobinas antiparasitadas de fábrica, 0,7...1,25 Uc)									
Vcc	12	24	48	72	110	125	220	250	440
	JD	BD	ED	SD	FD	GD	MD	UD	RD
LC1-D115 y D150 (bobinas antiparasitadas de fábrica, 0,75...1,2 Uc)									
Vcc		24	48	72	110	125	220	250	440
		BD	ED	SD	FD	GD	MD	UD	RD
LC1-D09...D38 (bobinas antiparasitadas de fábrica, 0,7...1,25 Uc)									
Vcc	5	24	48	72					
bajo consumo	AI	BI	FI	SI					

Para otras tensiones y frecuencias consultar



**Fig. 4.18. Contactor Principal LC1D**

**4.5. Especificaciones de Diseño**

- 1. Elemento Motriz:** Motorreductor Sew Eurodrive tipo R57-DT8QN4, Pot = 1 Hp, Ma = 540 N.m, n = 39.
- 2. Rodamiento Eje Superior:** FAG 6307-2Z, Rodamiento Sellado.
- 3. Rodamiento de la Rueda Guía:** FAG 6004-2Z, Rodamiento Sellado.
- 4. Soporte Chumacera:** SNL-508-607 SKF
- 5. Cadena del Sistema de Transmisión:** Cadena de Rodillos 20B-Sencilla, Paso = 1<sup>1/4</sup>"
- 6. Ruedas Dentadas:** Dp = 147,865 mm, N = 13 R = 1:1
- 7. Eje Superior:** Anexo "C"-C2
- 8. Eje Ruedas Guía:** Anexo "C"-C11
- 9. Rueda Guía:** Anexo "C"-C12
- 10. Carro de Transporte de la Lanza de Medición:** Anexo "C"-C10
- 11. Tensor de Acople Cadena:** Anexo "C"-C13
- 12. Plancha Superior:** Anexo "C"-C7
- 13. Estructura Madre:** Viga HEB 200, UPN 80.
- 14. Pieza Frontal del Motor:** Anexo "C"-C4
- 15. Apoyo de la Estructura Madre:** Anexo "C"-C5
- 16. Base de Fijación de la Estructura:** Anexo "C"-C14 y C15
- 17. Pernos de Fijación de la Base:** Tornillos de Cabeza Hexagonales M24x3, Grado 8.8.
- 18. Sensor Limit Switch:** Sensor Inductivo Limit Switch Pepperl Fuchs NCB15+U4+U (Ver Anexo "A"-A29)
- 19. Sendor de Velocidad:** Sensor Inductivo de Proximidad M12x1 NEN 10-12GM50-E2-V1 Pepperl Fuchs (Ver Anexo "A"-A28)
- 20. Relé SimoCode:** Siemens 3UF50
- 21. Contactor Principal:** LC1 - D12R7
- 22. Cableado de Potencia:** THW N° 12

**23. Cableado Profibus DP:** Cable Multiconductor de 8 pares con Amianto Protector.

# *CAPÍTULO V*

**CAPÍTULO V*****CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA DE SONDEO***

El proceso de construcción de un equipo, se realiza luego de haber culminado el diseño teórico de todos los factores involucrados en el funcionamiento del mismo y la funcionalidad del equipo en cuestión. Sin embargo, en este proceso muchas veces suelen surgir situaciones que requieren tomar decisiones que no son siempre errores del diseño inicial y que a la final terminan siendo optimizaciones o mejoras del equipo, buscando también abaratar los costos de producción, siempre y cuando se cumplan con las limitaciones iniciales y permita que realice su función principal.

Luego de terminada la construcción del prototipo, se evalúa su operatividad y funcionalidad. Con esta evaluación, por lo general, se detectan y corrigen ciertas imperfecciones que pasaron desapercibido en el análisis del diseño teórico. En el caso de que alguno de los sistemas que conforman la máquina no trabaje de la manera esperada, se rediseña dicho sistema y se procede a la elaboración de un segundo prototipo que incluya la nueva modificación y la adaptación de los sistemas adjuntos para asegurar que la máquina sea completamente funcional.

**5.1. Materiales Usados en la Construcción**

En la construcción de la máquina de sondeo se contó con el apoyo de la empresa y la disposición de los materiales existentes en Taller Central y Abastecimiento. Materiales como acero estructural ASTM A36, aceros AISI para fabricación en máquinas y herramientas entre otros, se facilitaron para finalizar la construcción. Teniendo en cuenta que estos materiales poseen excelentes propiedades y además fueron analizadas con anterioridad en los cálculos pertinentes de cada elemento del equipo, se garantizó la efectividad de la aplicación de ellos en la construcción de la máquina.

Para la selección de un material de cualquier elemento del diseño, teóricamente con un análisis de cálculo se evaluó la capacidad de los materiales de



soportar las cargas a la que estarían sometidas en su operación dependiendo de su función, además de la disponibilidad de estos materiales en el mercado nacional para que fuese factible su obtención.

Por último, se analizaron las condiciones de operación y el ambiente de trabajo. El sitio donde operaría esta máquina, consta de unos ambientes que propician la oxidación de los componentes metálicos. El área donde se encuentran los hornos de reducción de la planta, posee un ambiente muy contaminado de polvo y con exposiciones frecuentes a radiación de calor debido al mineral que se procesa en el área. Entonces, la selección de materiales o recubrimientos que sean resistentes a este tipo de condiciones es vital para el equipo.

## **5.2. Descripción del Proceso de Construcción**

La construcción se llevó a cabo con el personal disponible de Taller Central para esta actividad. Un soldador y un fabricante estuvieron a cargo de la fabricación de las piezas de calderería del equipo siguiendo las pautas, especificaciones y decisiones de los autores de este proyecto.

En la fabricación de las piezas en máquinas y herramientas, también se contó con el apoyo de los operadores de estas máquinas en Taller Central, por lo que la fabricación de las mismas estuvieron en manos de ellos y se les proporcionó los planos de fabricación, ensamblaje y especificaciones de materiales para minimizar los posibles errores en las piezas. Cabe destacar que surgieron varios periodos de tiempos muertos o demoras, debido al tiempo disponible del personal de taller antes mencionado.

## **5.3. Máquinas Herramientas y Equipo Utilizado**

Durante el proceso de construcción y ensamblaje de la máquina de sondeo, se usaron los siguientes equipos, herramientas y accesorios.

Tabla 5.1. Equipos Utilizados en la Construcción

Código	Equipo
MH1	Soplete Oxi-Corte
MH2	Morrocoy (Oxi-Corte Desplazamiento Automático)
MH3	Esmeril Bosh
MH4	Máquina de Soldar Industrial Lincoln
MH5	Torno
MH6	Fresadora
MH7	Taladro de Bancada
MH8	Prensa Hidráulica
MH9	Brocas y Machos para Roscas
MH10	Guillotina
MH11	Plegadora
MH12	Cizalla Hidráulica
MH13	Banco de Prueba para Motores Eléctricos
MH14	Grúa Puente
MH15	Montacargas
MH16	Motor tools
MH17	Piedra de Esmeril
MH18	Sargento
MH19	Taladro de Mano
MH20	Electrodos de Corte, Electrodos revestidos 6010, 7018 y 8018, Electrodos de Oxígeno
MH21	Llaves ajustables, Mandarria, Cuñas, Juego de llaves de tuerca, Destornilladores, Escuadra, Nivel, etc.



**Fig. 5.1. Guillotina Hidráulica**



**Fig. 5.2. Morrocoy-Oxicorte Automático**



**Fig. 5.3. Soplete de Oxicorte con Acetileno**



**Fig. 5.4. Torno de bancada de 4 metros**



**Fig. 5.5. Torno de bancada de 2 metros**



**Fig. 5.6. Fresadora Mecánica**



**Fig. 5.7. Dobladora Hidráulica**



**Fig. 5.8. Prensa Hidráulica**



**Fig. 5.9. Cizalla Hidráulica va y ven**



**Fig. 5.10. Puente Grúa 5 Ton**



**Fig. 5.11. Máquina de Soldar Miller**



**Fig. 5.12. Montacargas TOYOTA**

**Del Diseño Inicial calculado en el capítulo anterior, se decidió usar:**

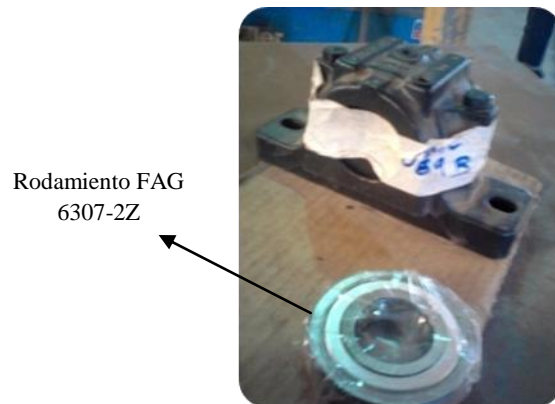
Para las Piezas de la estructura de la Máquina de Sondeos

- **Viga Madre Estructural:** *Acero Estructural Laminado en Caliente*
- **Perfil UPN 80:** *Acero Estructural Laminado en Caliente*
- **Pieza Frontal del Motor:** *Acero Estructural A36*
- **Apoyo de la Base:** *Acero Estructural A36*
- **Lámina Posterior de la Viga Base:** *Acero Estructural A36*
- **Base del Motor:** *Acero Estructural A36*
- **Nervios de la Base del Motor:** *Acero Estructural A36*
- **Plancha Superior:** *Acero Estructural A36*
- **Carro de Transporte:** *Acero Estructural A36*
- **Base de la Máquina:** *Acero Estructural A36*
- **Porta Lanza:** *Acero AISI 1045*
- **Eje Superior:** *Acero AISI 4340*
- **Rueda Dentada Motriz y Conducida:** *Acero AISI 4340*
- **Eje de la Rueda Guía:** *Acero AISI 4140*
- **Rueda Guía:** *Acero AISI 1045*
- **Tensor de Acople de la Cadena:** *Acero AISI 4140*

A continuación se muestra el motorreductor, los rodamientos y los soportes seleccionados en el capítulo anterior.



**Fig. 5.13. Motor Reductor SEW  
EURODRIVE**



**Fig. 5.14. Soporte y Rodamiento  
Superiores**

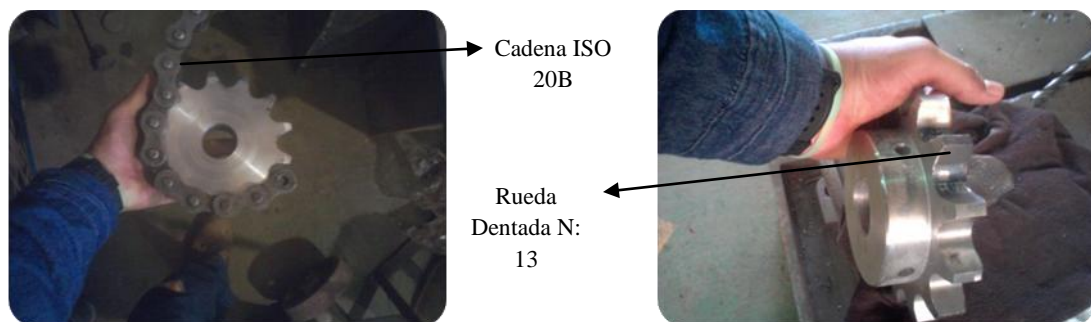
#### 5.4. Fabricación de la Rueda Dentada Motriz y Conducida

Las ruedas dentadas del Sistema de Cadenas del equipo se fabricaron usando el torno, la fresadora y el taladro con los planos en CAD generados del Diseño Inicial en un acero AISI 4340. Se comenzaron a hacer en el torno juntas cara a cara, se le dio el diámetro de la manzana y el diámetro perimetral. Luego se perforó y se le hizo el diámetro interno de 35 mm, el cual sería el diámetro del eje que estaba dispuesto para la parte superior del sistema de cadena y también la Rueda Dentada Motriz ya que el eje de salida del Motorreductor también es de 35 mm.

Se perforaron 13 orificios en el borde de la pieza, para darle los asientos de los casquillos de la cadena, luego se pasaron a la fresadora y se mecanizó la forma de los dientes de las ruedas.

Las Ruedas Dentadas que el programa de diseño, Inventor Profesional 2012 Autodesk nos facilita en su biblioteca, nos genera piezas estándar y debido a que los piñones son generalmente fabricados en talladoras que realizan el detalle del empalme suave en la parte interna del diente, se debió fabricar el perfil del diente en la fresa y tomamos la decisión de que el ángulo de devastado de la herramienta de la fresa fuese a  $30^\circ$ , ya que la fabricación se realizó en taller donde no poseemos estos equipos. También se le hicieron 2 prisioneros a  $90^\circ$  de  $3/8"$  a cada uno y la ranura de la chavetero. Luego se le hizo la prueba, en donde acoplo la Cadena en la Rueda Dentada y se asentó perfectamente cómo se muestra en la Figura 5.15.

La fabricación de esta pieza se realizó siguiendo las especificaciones mostradas en el Plano generado por los autores del proyecto. (Ver Anexo "C"- C1).



**Fig. 5.15. Prueba de Asiento de la Cadena ISO 20B-1**

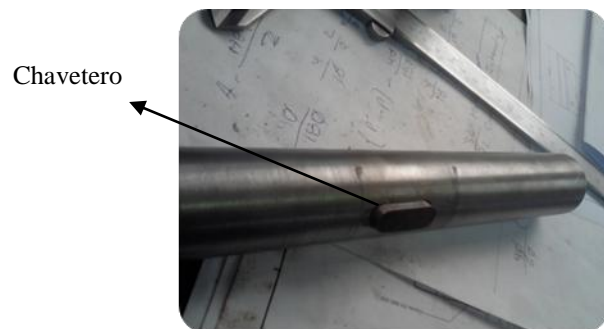
**Fig. 5.16. Rueda Dentada**

### 5.5. Fabricación del Eje Superior

El Eje Superior del sistema de cadenas del equipo, se fabricó en acero AISI 4340 el cual es un acero al Cromo-Níquel-Molibdeno de alta tenacidad debido a su alto contenido de níquel. Entre sus aplicaciones se considera ideal para piezas de maquinarias y ejes. El eje fue diseñado de tal manera de evitar los escalones de modo de disminuir los concentradores de esfuerzos que pudieran facilitar la aparición de tensiones y deformaciones internas que pudieran llevar a la pieza a una falla por la propagación de una grieta por fatiga. Para fijar los rodamientos y la Rueda Dentada, se usaron ajustes de interferencia el cual disminuye por mucho, el costo de mecanizado y fortalece la pieza. La fabricación de este eje se realizó siguiendo las especificaciones mostradas en el Plano generado por los autores del proyecto. (Ver Anexo "C"- C2)



**Fig. 5.17. Fabricación del Cuñero**



**Fig. 5.18. Eje Superior**

### 5.6. Fabricación de la Estructura Base de la Máquina de Sondeo

En la construcción se obtuvo una Viga Estructural HEB 200 de almacén, la cual sería la estructura base del equipo, buscando que el sistema de cadena también se encuentre protegido confinándolo en la parte interna de la viga. Además se obtuvieron 2 perfiles UPN 80, los cuales se usarían de Guías para el Carro de Transporte de la lanza de medición de acuerdo con el diseño inicial.

Se cortó la viga HEB 200 y los perfiles UPN a 5,8 m según el diseño calculado en el capítulo anterior. El corte se realizó con un soplete de oxicorte el cual opera con gas acetileno, oxígeno y aire comprimido para un corte limpio.

Luego se comenzó a armar la estructura y se soldaron los perfiles UPN a ras con la viga HEB de acuerdo con el diseño y como se muestra en la Figura 5.19. Se le hizo una Soldadura Intermitente con cordones de 2" de largo se usaron electrodos revestidos E6010 como pase raíz o profundidad y en el acabado se usaron cordones de E7018. Estos electrodos, son electrodos revestidos Lincoln (Ver Anexo "A"-A24).



Guías del Carro de  
Transporte UPN 80

**Fig. 5.19. Soldadura Intermitente  
Perfil UPN 80**



**Fig. 5.20. Esmerilando los Cordones  
de Soldadura**



### 5.7. Fabricación de la Lámina Posterior de la Viga Madre Estructural

Para la Lámina Posterior de la Viga, se había pensado usar una plancha de ASTM A36 de 6 mm, pero para abaratar los costos y evaluando la aplicación, se decidió usar una lámina de 3 mm. La lámina posterior, se cortó en la Guillotina Hidráulica del Taller Central mostrada en Figura 5.1., para luego ser empatada y soldada a la Viga con Soldadura Intermitente semejante a la de las Guías del Carro de Transporte.

Se tomaron algunas medidas de referencia de equipos en planta para el diseño de las correderas y los protectores del cableado de los Limit Switch (Ver Anexo "C"-C3).

Para la protección del cableado se cortaron con esmeril tubos cuadrados de 1"x1" y se soldaron en la Lámina Posterior. Se realizó el corte de las Correderas de los Sensores Limit Switch con oxicorte y en la Fresadora Mecánica se les fabricó la corredera de 3/8" para los sensores.

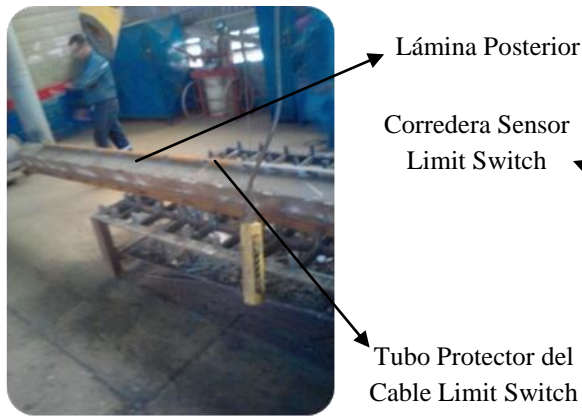


Fig. 5.21. Tubos Guardacables

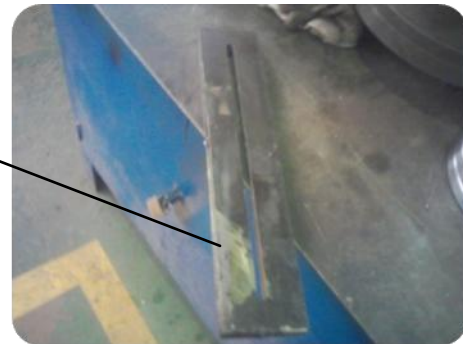


Fig. 5.22. Corredera de los Sensores

### 5.8. Fabricación de la Pieza Frontal del Motor y Apoyo de la Base de la Viga Estructural

Para la fabricación se usó una plancha ASTM A36 de 1/2" de espesor, luego se cortó con oxicorte 2 piezas que funcionan como Apoyo de la Base de la estructura, para disipar el momento que genera el carro de transporte en la viga base y también la Pieza Frontal del Motor que estará en la base de la viga. Los cortes de estas planchas se hicieron con un equipo de oxicorte con más precisión que un soplete, llamado *morrocoy* que se muestra en la Figura 5.2, y que posee un soplete de oxicorte articulado a un carro que se desplaza con una velocidad ajustable sobre unos rieles.

Los Apoyo de la Base de la estructura base y la Pieza Frontal del Motor se ensamblaron con Soldadura Corrida a la base de la Viga Madre, con un pase de raíz con E6010 y acabado con E7018. Se le colocó una plancha a la Viga Madre como se muestra en la Figura 5.24, para mantener el mismo nivel de las piezas que fueron soldadas en la parte inferior de la Viga H. (Ver Anexo "C" - C4 y C5)



Fig. 5.23. Polipasto de Grúa 5Ton

Apoyo de la Base  
de la Estructura



Fig. 5.24. Posicionando el Apoyo de la  
Base

### 5.9. Fabricación de la Base y Nervios de Apoyo del Motor

Teniendo el Motorreductor SEW EURODRIVE, se fabricó una base donde posara el mismo, con unos Nervios de Apoyo para reforzarla.

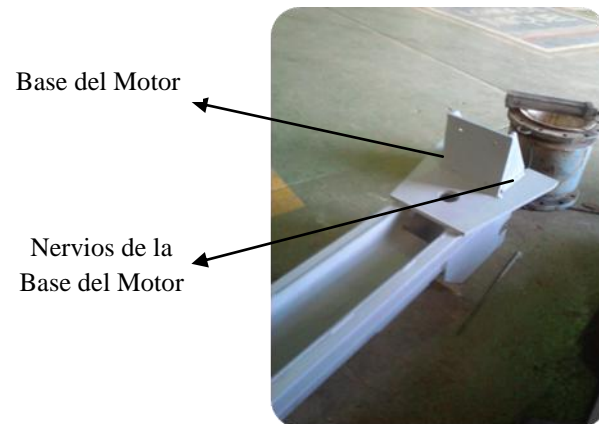
Estas piezas se fabricaron con el *morrocoy* al igual que los Apoyo de la Base de la Base y la Pieza Frontal del Motor, con una plancha de acero ASTM A36 de un espesor de 1/2". Luego se presentó el motorreductor para hacerle los orificios de los pernos de fijación en el Taladro de Bancada de Taller Central.

Para el ensamblaje, estas piezas fueron juntadas con Soldadura Corrida semejante a la aplicada en los Apoyo de la Base y la Pieza Frontal del Motor. (Ver Anexo "C"-C5)

También se aprovechó para retirarle la cara interna del alma de la viga hasta una altura de 600 mm como se muestra en la Figura 5.25, ya que a esa altura pasará el eje del motor con la rueda dentada y los elementos del instrumento que registrará las vueltas para así obtener el desplazamiento del carro de transporte de la lanza de medición. Todo esto pensado en el principio de medición automática de nivel de carga del horno de reducción.



**Fig. 5.25. Vista de la Parte Inferior del Equipo**



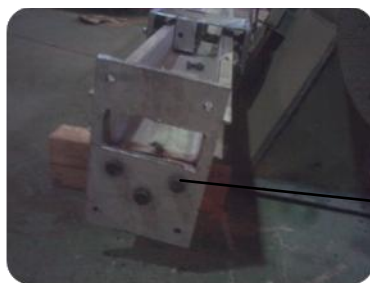
**Fig. 5.26. Parte Inferior del Equipo**

### 5.10. Fabricación de la Plancha Superior

Se obtuvieron dos rodamientos para el Eje Superior, con la designación 6307 2Z del catálogo FAG mostrados en la Figura 5.14, de hilera única sellados e internamente lubricados (Ver Anexo "A"-A13). Se toma en cuenta este tipo de rodamiento por la dificultad de realizar el mantenimiento de ellos, ya que estarán en la Plancha Superior que se encuentra a 6 m de altura. También se dispuso de los soportes de los rodamientos, en la que al no tener en existencia de Abastecimiento los destinados para estos, se retiraron dos chumaceras SNL 508-607 del catálogo SKF.

Teniendo los soportes se finalizó el diseño de la plancha superior, donde estaría el Eje junto con la Rueda Dentada y el par de rodamientos. La Plancha Superior se fabricó de acero ASTM A36 de 1/2", se cortó con el Soplete de Oxicorte del *morrocoy* y se perforaron los orificios de los soportes superponiéndolos sobre él.

En el Diseño Inicial, se pensó soldar la Plancha Superior a la Viga Madre, pero el personal de Taller Central sugirió que se hiciese desmontable para facilitar en un momento dado, el mantenimiento del Carro de Transporte. Así que se fabricó una pieza que estaría soldada a la parte superior de la Viga de un espesor de 3/4" a la cual se le perforaron 3 orificios roscados y se fijó la plancha superior con pernos M20x2,5 Grado 8.8. Figura 5.27. (Ver Anexo "C"-C6 y C7)



**Fig. 5.27. Plancha Superior**

Pieza de Modificación

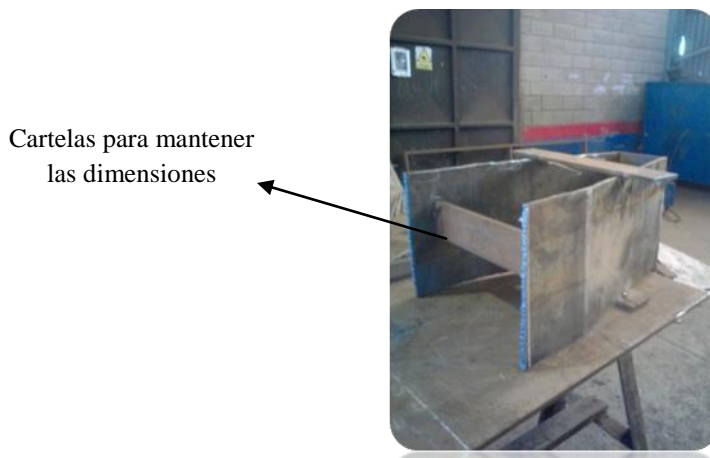
Perno Hexagonal  
M20x2,5 Grado 8.8



**Fig. 5.28. Estructura de Fijación de la Plancha Superior**

### 5.11. Fabricación del Carro de Transporte Porta Lanza

Para la fabricación del Carro de Transporte se cortaron las láminas de 3/8" de Acero Estructural ASTM A36 para la parte externa con Soplete de Oxicorte. La dobladora industrial de taller estaba fuera de servicio por lo tanto se improvisaron unos dobles en la prensa hidráulica. Se juntaron las dos láminas y se llevaron al centro para puntearlas con soldadura. Se le colocaron travesaños y cartelas soldadas para que las 2 láminas mantuvieran las dimensiones y no perdiera la posición como se muestra en la Figura 5.29. (Ver Anexo "C"-C9)



**Fig. 5.29. Estructura Externa del Carro**

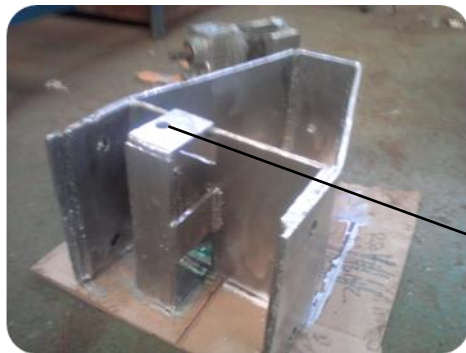
Se cortaron las planchas de acero ASTM A36 que formaron la estructura interior del carro de transporte en donde se instalaron los tensores de la cadena y por lo tanto, donde se acopla el carro de transporte como un todo a el sistema de cadenas que proporciona el movimiento vertical del equipo. Estas piezas, fueron cortadas con el soplete de oxicorte, al igual que todas las piezas de la parte interna del carro de transporte.

Los orificios en donde se colocarían los tensores de acople, debían estar alineados ya que de estos debían de estarlo ya que de eso dependía la posición de las ruedas dentadas, tanto la superior e inferior, porque de no ser así, el sistema de cadena necesitaría mantenimiento frecuente por desalineación y traería consecuencias

recurrentes como desgaste de los dientes, en las Ruedas Dentadas como también esfuerzos axiales en el Eje.

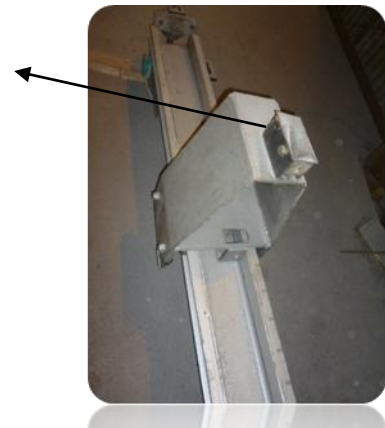
Se ensambló la parte interna y externa del carro de transporte como se muestra en la Figura 5.30., con cordones de soldadura corrida con pases de raíz de E6010 y cordón de acabado con E7018. (Ver Anexo "C"- C8 y C10)

Para la fabricación del porta lanza se tomó una barra cuadrada de 2"x2" y se cortó a una distancia de 80 mm, como lo previsto en el Diseño Inicial. Seguidamente se le fabricó un orificio para el pasador y otro roscado con un macho de 1/2" NPT, donde se fijara la lanza de medición ya que las mismas tienen en un extremo un segmento roscado de este tipo. Esta pieza se acopló con el Carro de Transporte por medio de unos tornillos hexagonales M12x1,5.



**Fig. 5.30. Carro de Transporte de la Lanza de Medición**

Porta Lanza  
Agujero para el  
Tensor de Acople



**Fig. 5.31. Porta Lanza Ensamblado en el Carro de Transporte**

### 5.12. Fabricación del Eje de la Rueda Guía

El Eje de la rueda guía se fabricó en acero AISI 4140, un acero aleado con cromo y níquel bastante resistente. El diseño de este eje se basó principalmente en elaborar una pieza en donde se pudiese ensamblar un rodamiento dentro de una rueda y este fijarlos al eje, de modo que la rueda tuviera la libertad de girar pero también estuviese restringida axialmente por escalones y anillos de retención. La fabricación de este eje se realizó siguiendo las especificaciones mostradas en el Plano generado por los autores del proyecto. (Ver Anexo "C"- C11)



Fig. 5.32. Ejes de las Ruedas Guía

### 5.13. Fabricación de la Rueda Guía

Para el diseño la Rueda Guía se tomaron en cuenta dos detalles, la forma de la rueda y el material. Ya que ella estaría girando sobre una guía que por Diseño es en un perfil UPN 80, la rueda debió tener el perfil interno de esta viga además de ser de un material poco resistente para que permitiese tomar las ruedas como elemento de repuesto al momento del mantenimiento y no deteriorar los perfiles guía con el roce y la abrasión entre ellos. Las ruedas se fabricaron en acero AISI 1045 (Anexo "A"-A7), el cual era el material menos resistente y tenaz con que se cuenta en la planta. La fabricación de este eje se realizó siguiendo las especificaciones mostradas en el Plano generado por los autores del proyecto. (Ver Anexo "C"- C12)

Para el ensamblaje de las Ruedas Guías, primero se introdujo el rodamiento por la parte frontal de la rueda hasta llegar al tope interno de ella, en donde descansa la pista externa del rodamiento. Luego se insertó el eje por la parte posterior hasta que llegó al escalón diseñado en él. Y por último se colocaron los retenedores, un reten interno en la rueda para sellar la pista externa del rodamiento y un reten externo en el eje para hacer tope en la pista interna.



**Fig. 5.33. Rueda Guía Ensamblada con el Rodamiento**

Rodamiento FAG  
6004-2Z

Reten Externo  
DIN 471

Reten Interno  
DIN 472

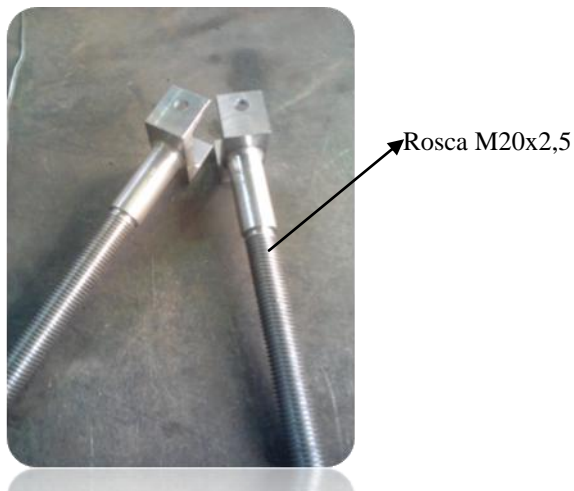


**Fig. 5.34. Ruedas Guías Ensambladas**



#### 5.14. Fabricación del Tensor de Acople de la Cadena

En el diseño de esta pieza se buscó que cumpliera con dos funciones importantes en el equipo. Acoplar la cadena del sistema al Carro de Transporte y a su vez que permitiese tensarla, lo que forma parte del modo de ajuste del equipo. Esta pieza se fabricó en un acero AISI 4140 ideal para nuestra aplicación, ya que es un acero aleado con Cromo-Níquel lo que lo hace resistente mientras mantiene su ductilidad por el porcentaje moderado de carbono. La fabricación de este eje se realizó siguiendo las especificaciones mostradas en el Plano generado por los autores del proyecto. (Ver Anexo "C"- C13)



**Fig. 5.35. Tensores de Acople de la Cadena al Carro de Transporte**

### 5.15. Fabricación de la base de la Máquina

En el diseño también se contempló la base donde estaría el equipo instalado. Ya que la máquina estaría instalada sobre la bóveda del Horno Eléctrico de Reducción, se tomó como diseño para la fabricación, dos planchas de 1" de espesor de modo de poder aislarlas eléctricamente una de otra para así poder fijar una a la bóveda del Horno y la otra fijarla al equipo, para luego apernarla con tornillos aislados con bocinas y arandelas aislantes. Con esta estructuración de la base del equipo, evitamos la continuidad eléctrica del Horno hasta la máquina, lo cual puede causar daños en los componentes eléctricos como el Motor, Sensores Limit Switch o el Sensor de Proximidad para las mediciones de desplazamiento del Carro de Transporte.

Se fabricaron las planchas de la base de la máquina en acero ASTM A36, se junaron una encima de otra y luego se le hicieron los agujeros de los pernos de fijación los cuales fueron 6 Tornillos Hexagonales M24x3 Grado 8.8. (Ver Anexo "C"- C14 y C15)



Fig. 5.36. Planchones Base de la Máquina

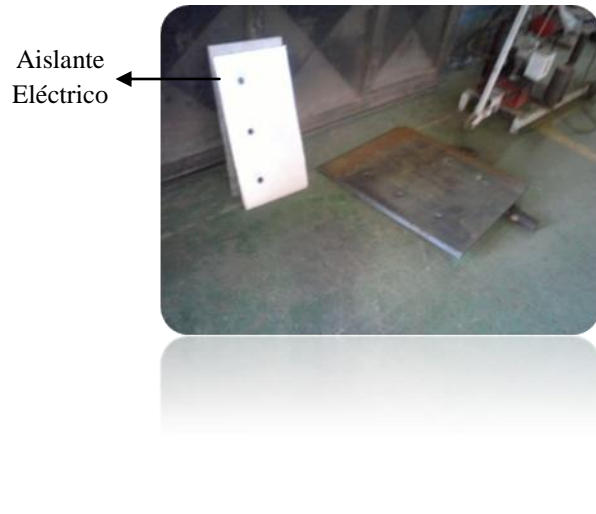


Fig. 5.37. Base de la Máquina y Láminas Aislantes

### 5.16. Uniones Atornilladas de la Máquina de Sondeo

Un sujetador, es cualquier objeto que se use para conectar o juntar dos o más componentes. En forma literal, se dispone de cientos de tipos de sujetadores y sus variaciones. Los sujetadores conectan o unen dos o más componentes, los más comunes son los pernos y los tornillos. Un perno es un sujetador con rosca diseñado para pasar por orificios en los miembros unidos, y asegurarse al apretar una tuerca desde el extremo opuesto a la cabeza del perno.

En el ensamblaje del Máquina, se usaron uniones atornilladas en muchas piezas, de modo de hacerlo más versátil al momento de un desmontaje o alguna actividad de mantenimiento que requiera un desensamblaje de una de las partes del equipo. En la siguiente tabla, se muestra un resumen de las uniones y fijaciones atornilladas de la Máquina de Sondeo.

**Tabla 5.2.** Resumen de Uniones y Fijaciones Atornilladas

<i>Partes Juntadas</i>	<i>Tipo de Componente de Fijación</i>	<i>Estructura de la Fijación</i>
Parte Superior e Inferior del Soporte del Rodamiento	Tornillo Hexagonal M10x1,5	Tornillo Roscado
Soporte del Rodamiento y la Plancha Superior	Tornillo Hexagonal M10x1,5 Arandela Plana e = 3mm Tuerca Hexagonal	Tornillo Roscado, Arandela plana superior, Partes Juntadas, Arandela plana inferior y Tuerca roscada de fijación
Plancha Superior y la Viga Madre Estructural	Tornillo Hexagonal M20x2,5 Arandela Plana e = 3mm	Tornillo roscado con Arandela de plana
Motorreductor y Base del Motor	Tornillo Hexagonal M10x1,5 Arandela Plana e = 3mm Tuerca Hexagonal	Tornillo Roscado, Arandela de plana superior, Partes Juntadas, Arandela plana inferior y Tuerca roscada de fijación
Eje del Motor y Plato de Medición	Tornillo M12x1,5 Tuerca Hexagonal	Tornillo Hexagonal, 1ra Tuerca Hexagonal, Plato de Medición, 2da Tuerca Hexagonal y 3ra

		Tuerca Hexagonal de fijación
Ruedas Guías y el Carro de Transporte de la Lanza de Medición	Parte Roscada M20x2,5 Arandela Plana e = 3mm Tuerca Hexagonal de Seguridad	Rueda Guía ensamblada (parte roscada), Arandela Plana, Sección lateral del Carro, Arandela Plana y Tuerca de seguridad
Tensor de Acople de Cadena y el Carro de Transporte de la Lanza de Medición	Parte Roscada M20x2,5 Arandela Plana e = 3mm Tuerca Hexagonal de Seguridad	Tensor Acople (parte roscada), Tuerca Hexagonal, Arandela plana, Sección de acople del Carro, Arandela plana y Tuerca de seguridad
Unión de las 2 planchas de acero de la Base de la Máquina	Tornillo Hexagonal M24x3 Arandela Plana e = 3mm Arandela de Aislante Eléctrico e = 4mm Aislante Eléctrico Tubular	Tornillo Roscado, Arandela de plana superior, Arandela aislante superior, Aislante Tubular, Piezas Juntadas, Arandela plana inferior, Arandela aislante inferior y Tuerca roscada de fijación

### 5.17. Construcción del Sistema Automatizado de la Máquina de Sondeo

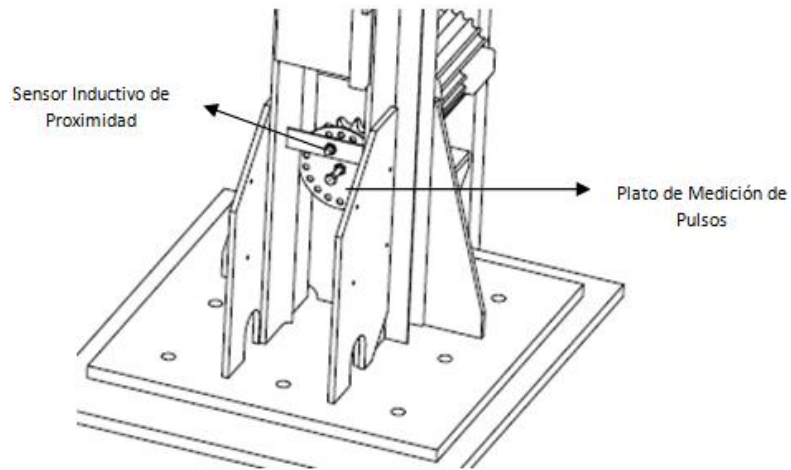
Para crear el sistema de monitoreo y control del equipo, se debió disponer (tal como lo indica el diseño), dos entradas de conexión al PLC-CPU Siemens Serie 400 del área 420 conectado a la red Profibus DP de la planta, de modo que Sala de Control de Reducción pueda accionar el equipo y monitorearlo al igual que DCS en el Departamento de mantenimiento. Además se contó con tres sensores inductivo. Dos para los Limit Switch superior e inferior y el tercero, un sensor de proximidad o de velocidad que se usó para registrar el desplazamiento del carro de transporte del equipo. También se dispuso de un cableado eléctrico para la interconexión y alimentación del sistema.

Su funcionamiento básicamente se centra en el dispositivo PLC (Controlador Lógico Programable). Es aquí donde el operador accionará la máquina y donde se registrarán los resultados de la medición del Nivel de Carga dentro del Horno Eléctrico y el Nivel de "*Build up*" presente en el fondo del hogar. Luego del accionamiento, el PLC se encargará mediante una programación realizada por el personal de DCS, monitorear la Curva de Amperaje del Motorreductor que lo proporciona la conexión de dicho Motor con un equipo inteligente, **SimoCode 3UF50** ubicado en la Sala de MCC (Centro de Control de Motores) del área de reducción 420. El dispositivo PLC registrará los valores de desplazamiento del Carro de transporte de la máquina en el momento en que se presente un punto de exigencia en el torque del Motorreductor, el cual se refleja en la Curva de Amperaje del mismo. Por lo tanto, se deberían encontrar 2 puntos elevados de corriente que deben coincidir con el momento en que la Lanza de Medición atraviesa la costra superficial del material del Horno y cuando hace contacto con las paredes del fondo o con el material de sedimentación "*Build up*".

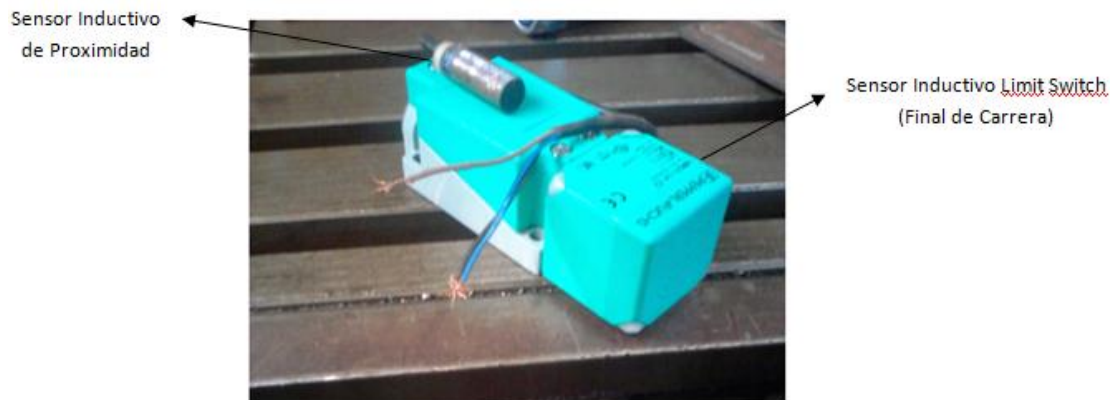
El dispositivo PLC al manejar los valores registrados de la distancia recorrida, este puede arrojarlos el Nivel de Carga del Horno y por consiguiente el nivel de "*Build up*", teniendo en cuenta que la altura del horno no es variable.

El sensor inductivo de proximidad, registrará las revoluciones del motor que intrínsecamente nos proporcionará el valor de la distancia recorrida por el Carro de

Transporte debido a la relación entre las vueltas de la Rueda Dentada y el desplazamiento de la Cadena. En la siguiente figura se muestra el esquema del mecanismo de medición del sensor.



**Fig. 5.38. Esquema de la Estructura de Medición del Desplazamiento de la Máquina**



**Fig. 5.39. Sensor Inductivo Limit Switch y Sensor de Proximidad**

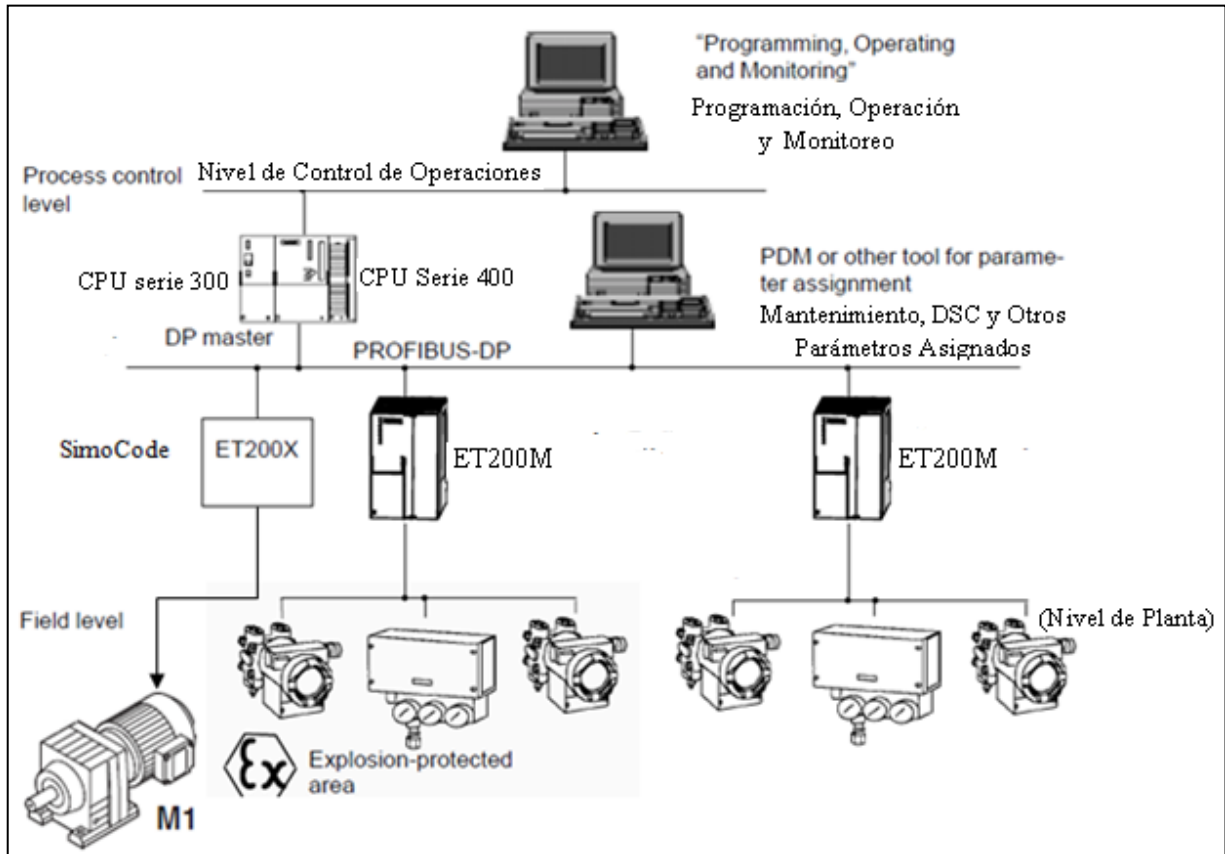


Fig. 5.40. Esquema de Interconexión de Redes de la Planta Loma de Níquel



Fig. 5.41. PLC-CPU Siemens Serie 400



Fig. 5.42. PLC-CPU Siemens Serie 300



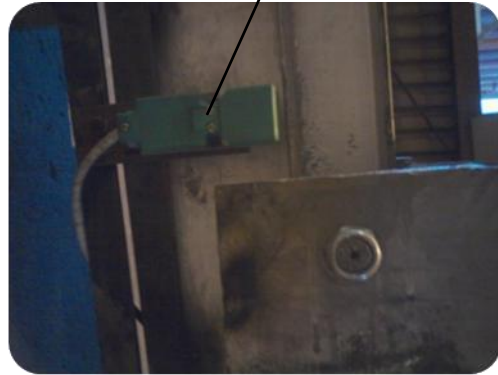
**Fig. 5.43. Sala de PLC del Área de Reducción 420**



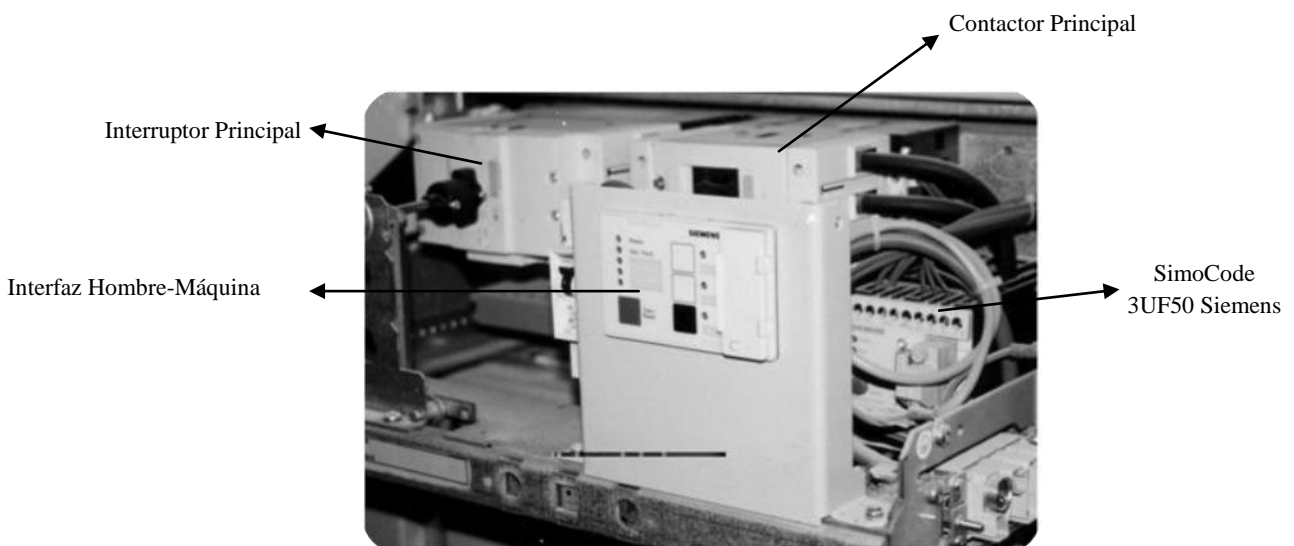
**Fig. 5.44. Sala de MCC del Área de Reducción 420**



**Fig. 5.45. Sensor Inductivo Limitador de Carrera Superior del Carro de Transporte**



Limit Switch Superior



**Fig. 5.46. Esquema de Conexión del Motorreductor (fuente: Siemens 3UF5 SIMOCODE-DP System Motor Protection an Control Device)**



# *CAPÍTULO VI*

## CAPÍTULO VI

**COSTOS Y RENTABILIDAD DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA  
DE SONDEO**

Luego de haber culminado el proceso de construcción de la máquina de sondeo descrita en el capítulo anterior, se procede a realizar un análisis de costos monetarios de los repuestos, materiales y horas-hombre necesarios para la fabricación e interconexión del equipo en la planta. También se evaluará la rentabilidad de la implementación de este proyecto además de los beneficios que este aporta para el control del proceso de producción de la empresa.

**6.1. Análisis de Costos de la Máquina de Sondeo**

**Tabla 6.1. Costos de los repuestos usados en la construcción**

Ítem	REPUESTOS	Precio	Unidad	Cantidad	SubTotal
1	Perfil UPN 80	980	Bsf/ 6 metros	2	1960
2	Viga HEB 200 (Acero estructural)	40	Bsf/kg	290	11600
3	Cadena ISO-20B Sencilla	5700	Paquete 3 metros	3,8	21660
4	Lámina de ACERO A36	60	Bsf/kg	393	23580
5	Motor Reductor Sew Eurodrive Tipo R 57-DT8QN4 (Ma= 540 Nm; n= 39RPM; Pot= 1HP)	20000	Bsf	1	20000
6	Chumacera SKF Soporte SNL - 508 - 607	720	Bsf	2	1440
7	Rodamiento de Bola de Hilera Única y Sellado (FAG 6307 - 2Z) Dinterno= 35mm y Dexterno= 80mm	760	Bsf	2	1520
8	Rodamiento de Bola de Hilera Única y Sellado (FAG 6004 - 2Z)	250	Bsf	4	1000
9	Rueda dentada Motriz ACERO AISI 4340 (Dinterno= 35 mm; 13 Dientes; Paso = 35mm)	250	Bsf	2	500

10	Pintura Montana Resistencia a Altas Temperaturas (Temperatura 900 °C)	1500	Bsf	1	1500
11	Electrodo GRICON 29 (Clasificación E 6010)	170	Bsf/kg	50	8500
12	Electrodo GRICON 15 (Clasificación E 7018)	140	Bsf/kg	50	7000
13	Limitadores de Carrera Limit Switch Pepperl Fuchs	1590	Bsf	2	3180
14	Sensor Inductivo de Proximidad Pepperl Fuchs	900	Bsf	1	900
15	SIMOCODE 3UF50 Siemens	5130	Bsf	1	5130
16	Cable Multiconductor de 8 pares con Amianto Protector	640	Bsf	80	51200
17	Cable de Potencia THW N° 12	9	Bsf/m	150	1350
18	Contactador Principal	860	Bsf	1	860
19	Interruptor Principal	1200	Bsf	1	1200
				<b>TOTAL</b>	164.080 Bsf

Tabla 6.2. Costos de las piezas fabricadas en máquinas y herramientas

Ítem	PIEZAS EN MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS	Precio del Material	H-H de Operadores de M-H	Cantidad Hrs	Cantidad	SubTotal
1	Porta Lanza ACERO AISI 1045	180	31,25	1	1	253,5
2	Eje de la Rueda Guía ACERO AISI 4140	352	31,25	3	4	872,4
3	Rueda Guía ACERO AISI 1045	105	31,25	1,5	4	351
4	Eje Superior ACERO AISI 4340 (D = 35mm)	1700	31,25	4	1	2190
5	Tensor de Acople Cadena AISI 4140	900	31,25	6	2	1530
6	Plato de Medición ASTM A36	35	31,25	0,5	1	60,75
					<b>TOTAL</b>	5.257,65 Bsf

**Tabla 6.3. Costos de las Horas Hombre de soldadores en la construcción**

Ítem	HORAS HOMBRE DE FABRICACIÓN DEL CALDERERO	Precio de la H-H	Cantidad Hrs	SubTotal
1	Preparación, Juntas Soldadas de la Estructura y Guías del Carro de Transporte	400	12	4800
2	Fabricación de la Lámina Posterior	400	0,5	200
3	Fabricación de la Lámina Frontal del Motor	400	3	1200
4	Fabricación de los Apoyo de la Base de la Estructura	400	4	1600
5	Fabricación Base del Motor	400	0,5	200
6	Fabricación de los Nervios de Apoyo del Motor	400	1	400
7	Fabricación del Carro de Transporte	400	12	4800
8	Fabricación de la Base de la Máquina	400	4	1600
9	Fabricación de la Plancha Superior	400	1	400
10	Junta Soldada de todos los Elementos Estructurales	400	24	9600
			<b>TOTAL</b>	24.800 Bsf

**Tabla 6.4. Costos de los elementos de tornillería**

Ítem	TORNILLERÍA DE LA MÁQUINA	Cantidad	Precio por Unidad	SubTotal
1	Tornillos de Cabeza Hexagonal M10	4	9	36
2	Tornillos de Cabeza Hexagonal M12	9	16	144
3	Tornillos de Cabeza Hexagonal M20	3	18	54
4	Tornillos de Cabeza Hexagonal M24, Long: 4"	6	22	132
5	Tuercas Métricas Hexagonales	19	6	114
6	Arandelas Planas	44	3	132
			<b>TOTAL</b>	612 Bsf

**Nota:** Todos los precios de los ítems señalados en las tablas anteriores fueron consultadas por proveedores de la región central y Capital en el transcurso de los meses de Septiembre y Octubre del presente año.

$$\begin{aligned} \text{Costo Total de la Máquina de Sondeo} &= (612 + 24.800 + 5.257,6 + 164.080) \text{ Bsf} \\ &= \mathbf{194.749,6 \text{ Bsf}} \end{aligned}$$

Aunque el costo de la construcción de la Máquina de Sondeo pareciera algo elevado, los beneficios que la empresa obtendría de la implementación de este proyecto hacen que la inversión sea atractiva.

Beneficios como La supresión de los riesgos de incidente del procedimiento de sondeo debido a su alto nivel de peligrosidad, La cantidad de información de los parámetros internos de los hornos de reducción que nos proporciona este procedimiento al realizarlo con mayor frecuencia, La innovación tecnológica de la planta y la posibilidad de realizar la actividad sin la desconexión del horno que incide en una pérdida de 10.000 dólares por hora (63.000 Bsf/hr), hacen que la implementación de esta Máquina sea rentable para cualquier empresa minera del mundo.

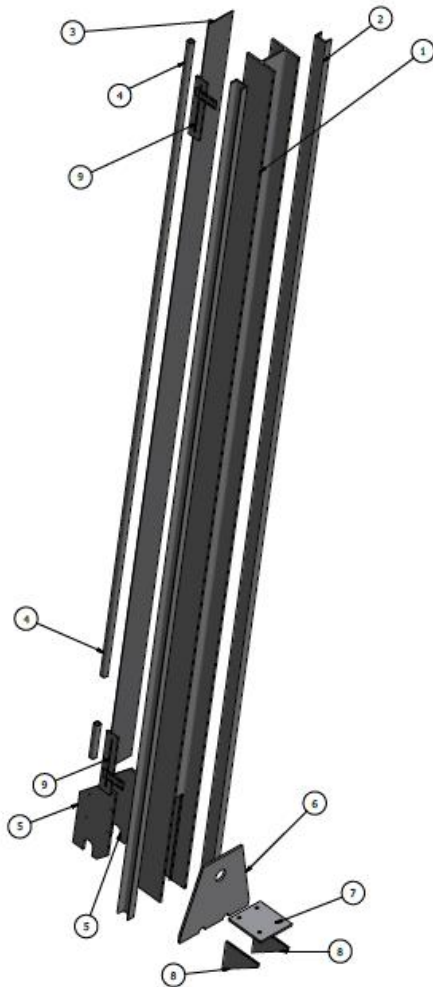
# *CAPÍTULO VII*

**CAPÍTULO VII**  
**MANUAL DE INSTALACIÓN Y OPERACIÓN**

Para finalizar el ciclo de diseño de este proyecto, se procede a realizar un manual de instalación de la máquina de sondeo de nivel en donde se observará un procedimiento específico para el ensamblaje del mismo, además de algunas recomendaciones de mantenimiento y posibles fallas en operación del sistema.

**7.1. Manual de Instalación**

**7.1.1. Ensamblaje Estructural de la Máquina de Sondeo (Uniones Soldadas)**



**Fig. 7.1. Despiece del Ensamblaje Estructural de la Máquina**

**Tabla 7.1. Lista de Partes del Ensamblaje Estructural**

# Pieza	Elemento	Observación
1.1	Viga Madre Estructural	Viga Estructural HPE 200
1.2	Rieles Guías del Carro de Transporte	Perfil UPN 80 - Soldadura Intermitente con Pase de Raíz de E6010 y acabado E7018
1.3	Lámina Posterior	Lámina de 1/8" A36- Soldadura Intermitente con E6010
1.4	Tubo Guarda Cables	Tubo Cuadrado 1x1x0,033-Soldadura Intermitente con E6010
1.5	Pie de Amigo Posteriores	Lámina de 1/2" - Soldadura Continua con Pase de Raíz E6010 y Acabado con E7018
1.6	Pieza Frontal del Motor	Lámina de 1/2" - Soldadura Continua con Pase de Raíz E6010 y acabado con E7018
1.7	Base del Motor	Lámina de 1/2" - Soldadura Continua con Pase de Raíz E6010 y acabado con E7018
1.8	Nervios de la Base del Motor	Lámina de 1/2" - Soldadura Continua con Pase de Raíz E6010 y acabado con E7018
1.9	Corredora Sensor Limit Switch	Lámina de 3/8" - Soldadura Continua con Pase de Raíz E6010 y acabado con E7018

**Procedimiento de Ensamblaje**

1. Tome los perfiles UPN (# 1.2) y júntela con la Viga H (# 1.1) a ras del ala de ella, como se muestra en la **Figura 5.1**. Luego aplique una soldadura intermitente de 2" a lo largo de su extensión con un pase de raíz de **E6010** y un acabado con **E7018** para obtener un cordón de alta ductilidad y resistencia tensil.
2. Tome la lámina posterior (# 1.3) y colóquela como tapa en la parte lateral de la Viga H (# 1.1). Únala con soldadura eléctrica con pases intermitentes de **E6010**.
3. El tubo guarda cables (# 1.4) únala con soldadura eléctrica con pases intermitentes de **E6010** a la lámina posterior (# 1.3). **NOTA**. Fije el tubo del lado más cercano de donde piense colocar las correderas de los sensores limitadores de carrera, ya que la función de este, es resguardar los cables de estos sensores.
4. Coloque un Pie de amigo (# 1.5) de cada lado de la Viga H (# 1.1) y realice la unión con soldadura eléctrica continua a bisel, y a tope en donde es necesario con un primer pase de raíz con **E6010** y un pase de acabado de **E7018**. Solape la pieza hasta unos 100 mm por fuera, del ala de la Viga H.
5. Tome la Pieza frontal del Motor (# 1.6) y fíjela de frente a la estructura, como se muestra en la **Figura 5.1**, al nivel del extremo de la Viga H (# 1.1). Esta unión deberá ser soldada, principalmente continua de cordones con pase de raíz de **E6010** y con pase de acabado de **E7018**.
6. La Base del Motor (# 1.7) deberá ser fijada con Soldadura eléctrica continua de cordones con pase de raíz de **E6010** y con pase de acabado de **E7018**. **NOTA**. Deberá fijar la base a una distancia de tal manera que el eje del motor pueda atravesar la Pieza frontal del Motor (# 1.6) por el orificio que este posee.
7. Tome los Dos nervios de apoyo (# 1.8) y únalos a la Base del motor (# 1.7) justo debajo de él, este quedara a ras de esta pieza, luego que los coloque a tope contra la Pieza frontal del Motor (# 1.6). Se deberá realizar la unión



con Soldadura Eléctrica continua de cordones con pase de raíz de **E6010** y con pase de acabado de **E7018**.

8. Las correderas de los sensores (# **1.9**) deberán ser soldados también y colocarlos solapados por fuera del ala de la Viga H (# **1.1**). Realice la unión con soldadura eléctrica continua a tope con un primer pase de raíz con **E6010** y un pase de acabado de **E7018**. **NOTA.** Debe tener en cuenta que estos porta sensores estarán fijos, esto quiere decir que debe tomar la decisión de ¿Cuanto será la carrera definitiva del Carro de Transporte de la Lanza de Medición? y además tener en consideración, que el sensor Limit Switch tendrá la libertad de desplazarse sólo a lo largo de la corredera.

## 7.1.2. Ensamblaje de la Rueda Guía

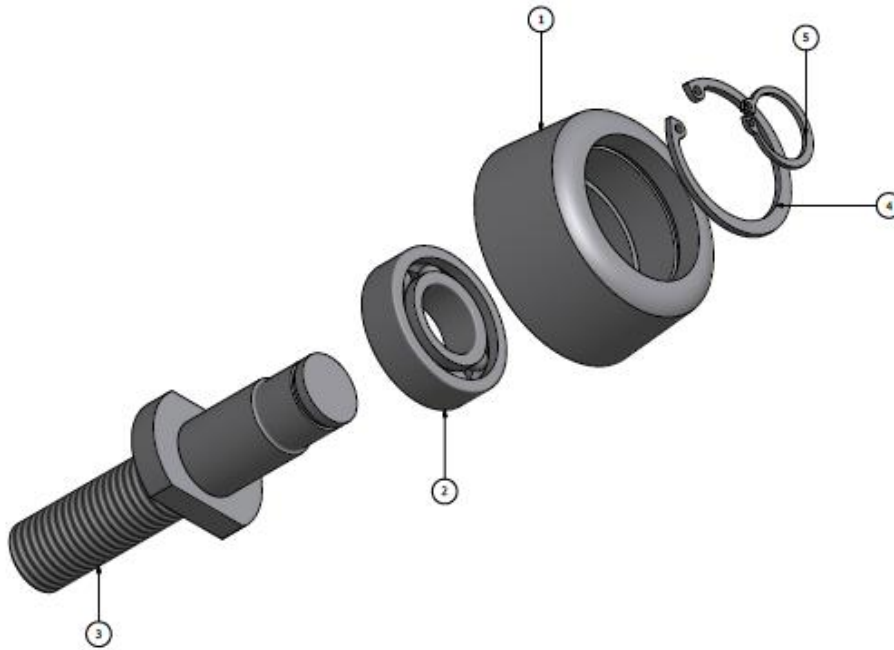


Fig. 7.2. Despiece del Ensamblaje de la Rueda Guía

Tabla 7.2. Lista de Partes de la Rueda Guía

<i># Pieza</i>	<i>Elemento</i>	<i>Observación</i>
2.1	Rueda Guía	Fabricado con Acero AISI 1045, con el perfil interno de la UPN 80
2.2	Rodamiento Sellado	Rodamiento FAG 6004-2Z
2.3	Eje de la Rueda Guía	Fabricado en Acero AISI 4340
2.4	Reten Interno	DIN 472 42x1,75
2.5	Reten Externo	DIN 471 20x1,2

***Procedimiento de Ensamblaje***

1. Tome el Rodamiento FAG (# 2.2) e introdúzcalo por la parte delantera de la Rueda Guía (# 2.1) si se quiere con una prensa, hasta que llegue a su tope, el cual se encuentra internamente la Rueda.
2. Luego El Eje (# 2.3) se puede insertar posterior a la Rueda y esta entrara hasta que el último escalón del eje haga tope con la pista interna del Rodamiento (# 2.2) como se muestra en la **Figura 5.2**.
3. Tome el Reten Interno (# 2.4) y colóquelo en la ranura interna que posee la Rueda Guía (# 2.1), esto para terminar de fijar la pista externa del rodamiento y evitar que se desplace.
4. El Reten Externo (# 2.5) deberá insertarlo en la ranura del Eje (# 1.1) para fijar la pista externa del Rodamiento.

7.1.3. Ensamblaje del Carro de Transporte

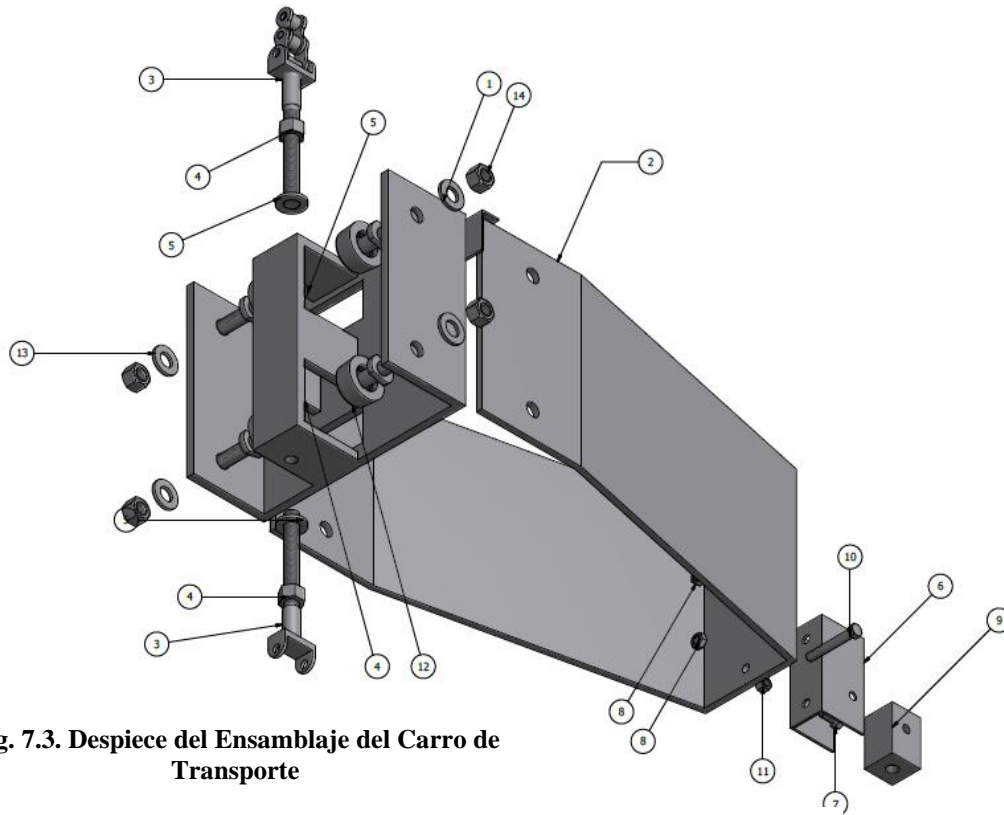


Fig. 7.3. Despiece del Ensamblaje del Carro de Transporte

Tabla 7.3. Lista de Partes del Carro de Transporte

# Pieza	Elemento	Observación
3.1	Estructura Interior del Carro de Transporte	Plancha de A36 de 1/2"
3.2	Estructura Externa del Carro de Transporte	Plancha de A36 de 1/2" con Unión Soldada de 1er pase con E6010 y 2do pase con E7018
3.3	Tensor de Acople de la Cadena	Acero AISI 4140 (Fabricada)
3.4	Tuerca Hexagonal M20x2,5	Unión Atornillada para el Tensor de la Cadena
3.5	Arandela Plana Circular	e = 3 mm
3.6	Cartela tipo C Lanza-Carro	Lámina 1/8" con dobléz de 90° y perforaciones de 1/2"
3.7	Tornillo de Cabeza Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada entre el Carro y las Piezas q Sostienen la Lanza
3.8	Tuerca Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada entre el Carro y las Piezas q Sostienen la Lanza
3.9	Pieza de acople Lanza-Carro	Tocho Cuadrado de Acero AISI 1045
3.10	Tornillo de Cabeza Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada entre el Carro y las Piezas q Sostienen la Lanza
3.11	Tuerca Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada entre el Carro y las Piezas q Sostienen la Lanza
3.12	Roldana	Rueda Guía, Eje Roscado y Rodamiento FAG 6004-2Z (Roldana)
3.13	Arandela Plana Circular	e = 3 mm
3.14	Tuerca Hexagonal M20x2,5	Unión Atornillada entre el Carro y las Piezas q Sostienen la Lanza

**Procedimiento de Ensamblaje**

1. Tome la Estructura Exterior del Carro de Transporte (# 3.2) y júntela con la Estructura Interior (# 3.1) como se muestra en la **Figura 5.3**. Luego aplique una soldadura a tope con un pase de raíz de **E6010** y un acabado con **E7018**. **NOTA.** Los orificios deberán coincidir ya que hay se fijaran las Ruedas Guías del Carro de Transporte.
2. El Tensor de Acople Inferior y Superior (# 2.3) deberá fijarse con una unión atornillada en los agujeros tiene la Estructura Interior (# 3.1), los cuales están concéntricos para que la cadena se acople y se tense sin ninguna desalineación. **NOTA.** Se fijará de la siguiente manera: Tuerca Superior (# 3.4), Arandela Plana Superior (# 3.5), Arandela Plana Inferior y Tuerca Seguridad Inferior.
3. La Cartela Tipo C Lanza-Carro (# 3.6) deberá fijarse de forma apernada a la Estructura Externa del Carro (# 3.2) en la cara delantera, la cual tiene unos orificios para los Pernos (# 3.7) como se muestra en la **Figura 5.3**. **NOTA.** Se fijará de la siguiente manera: Perno, Arandela de Presión, Arandela Plana Inferior y Tuerca Seguridad Inferior (# 3.8).
4. La Pieza de Acople Lanza-Carro (# 3.9) deberá fijarla con la Cartela Tipo C (# 3.6) con una unión apernada que pasará por los orificios laterales de la Pieza de Acople y la Cartela Tipo C, estructurada de la siguiente forma: Perno M12 (# 10), Arandela Plana y Tuerca Hexagonal M12 (# 11).
5. Tome las 4 Roldanas (# 3.12) e insértelas en los cuatro orificios laterales que están en la estructura interior y exterior del Carro de Transporte como se muestra en la **Figura 5.3**.

## 7.1.4. Ensamblaje del Motor Reductor en la Máquina de Sondeo

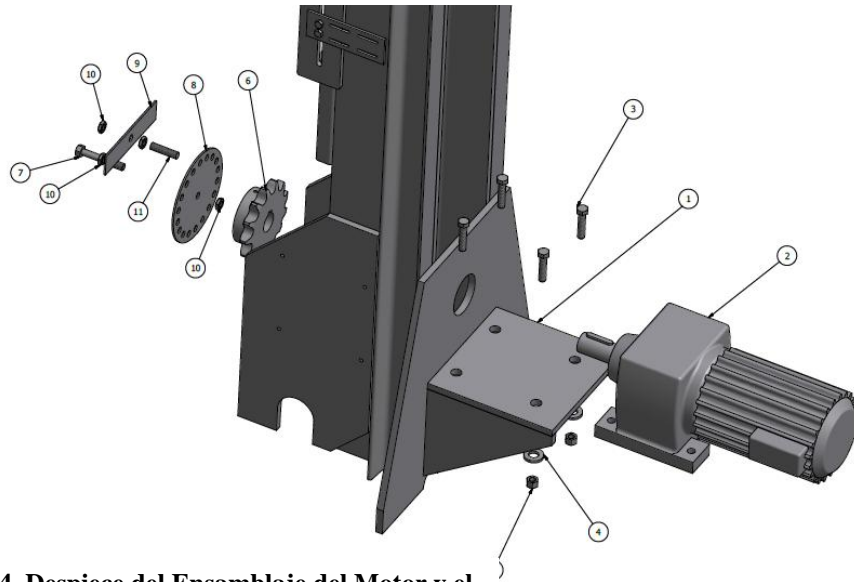


Fig. 7.4. Despiece del Ensamblaje del Motor y el Sistema de Medición de Pulsos

Tabla 7.4. Lista de Partes del Sistema Motriz

# Pieza	Elemento	Observación
4.1	Base del Motor Reductor	Lámina de 1/2" de Acero A36
4.2	Motor Reductor	Motor Reductor SEW EURODRIVE 1 Hp - Vs = 39 rpm
4.3	Tornillo Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada Motor Reductor - Base
4.4	Arandela Plana Circular	Unión Atornillada Motor Reductor - Base. e = 3mm
4.5	Tuerca Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada Motor Reductor - Base
4.6	Rueda Dentada N: 13	N : 13, Paso 1 <sup>1/4"</sup> Fabricado en acero AISI 4340
4.7	Tornillo Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada Plato de Medición de Pulsos-Eje del Motor
4.8	Plato de Medición de Pulsos	Unión Soldada con Pase de Raíz E6010
4.9	Soporte Sensor de Proximidad	Lámina e = 3 mm
4.10	Tuerca Hexagonal M12x1,5	Unión Atornillada Sensor de Proximidad-Soporte Sensor
4.11	Sensor de Proximidad	Sensor Inductivo

**Procedimiento de Ensamblaje**

1. Tome el Motor Reductor (# 4.2) y colóquelo encima de la Base del Motor (# 4.1). **NOTA.** Los orificios del Motor deben quedar coincidentes con los que tiene la Base del Motor.
2. Luego deberá fijar el Motor Reductor (# 4.2) con una unión apernada con Tornillos Hexagonales M12 (# 4.3) estructurada de la siguiente manera: Tornillo Hexagonal, Pata del Motor, Base del Motor, Arandela Plana (# 4.4) y Tuerca Hexagonal (# 4.5). Como se muestra en la **Figura 5.4**.
3. Tome la Rueda Dentada Motriz (# 4.6) e insértela en el Eje del Motor Reductor, recuerde que debe coincidir la cuña con la ranura.
4. Tome el Tornillo Hexagonal M12 (# 4.7) con la Tuerca Hexagonal (# 4.10) y únala con el Plato de Medición de Pulsos (# 4.8), para luego roscar el Tornillo en el Eje del Motor Reductor (# 4.2) que de fabrica posee un orificio roscado, tal como se muestra en la **Figura Nr.**
5. Fije con soldadura eléctrica el Soporte del Sensor (# 4.9) y luego deberá introducir el Sensor de Proximidad (# 4.10) en el orificio del soporte, como se puede observar en la **Figura 5.4**. **NOTA.** Se debe tener en consideración que el sensor tiene que estar lo suficientemente cerca del plato de medición y alineado con los orificios del mismo, para que pueda leer y mandar los pulsos al **PLC** por cada orificio.

## 7.1.5. Ensamblaje de la Parte Superior de la Máquina de Sondeo

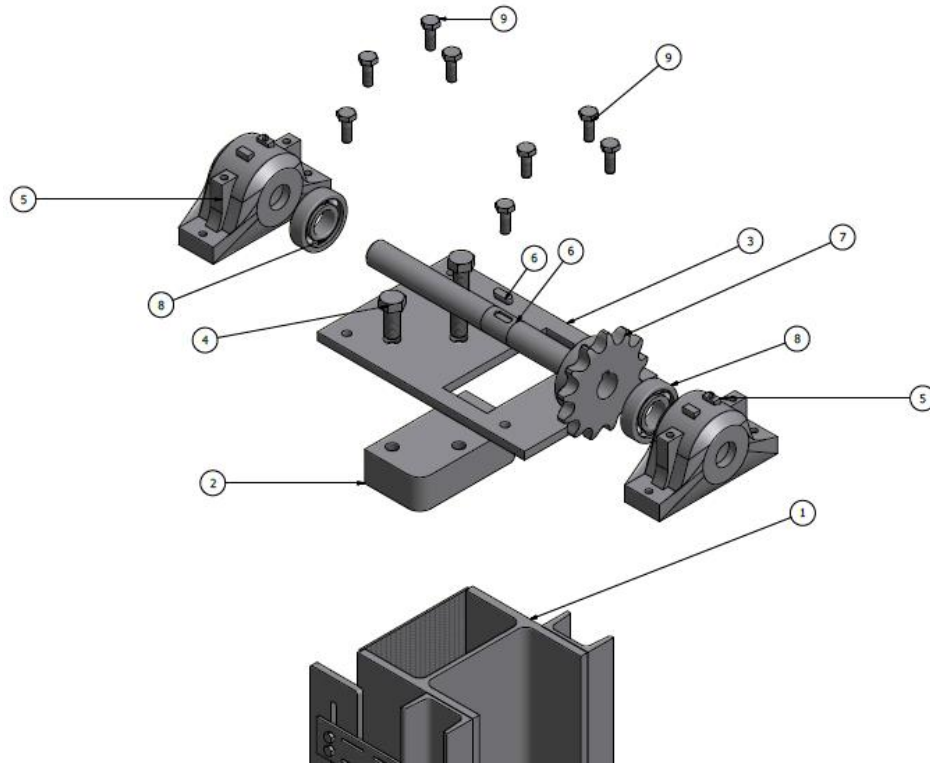


Fig. 7.5. Despiece del Ensamblaje de la Plancha Superior y Componentes

Tabla 7.5. Lista de Partes del Sistema Conducido Superior

# Pieza	Elemento	Observación
5.1	Viga Madre Estructural	Viga Estructural HPE 200
5.2	Pieza de Fijación Roscada	Acero Estructural A36 de $e = 1\frac{1}{2}$ " , Unión Soldada con Soldadura continua con pases de E7018
5.3	Plancha Superior	Acero Estructural A36 de $e = 1/2$ "
5.4	Tornillo Hexagonal M20x2,5	Unión Atornillada Plancha Superior - Viga Madre
5.5	Soporte de Rodamiento	Soporte SKF SNL 508-607 SKF
5.6	Eje y Cuña	Fabricado en Acero AISI 4340 y Cuña 10x8 mm
5.7	Rueda Dentada	N : 13, Paso $1\frac{1}{4}$ " Fabricado en acero AISI 4340
5.8	Rodamientos	Rodamiento FAG 6307 2Z
5.9	Tornillos Hexagonales M10x1,5	Unión Atornillada de los Soportes - Plancha Superior y Parte Superior e inferior del Soporte



**Procedimiento del Ensamblaje**

1. Tome la Pieza de Fijación Roscada (# 5.2) y aplique una unión soldada con pases de electro **E6010**, en donde la cara superior de esta pieza quede al nivel de la Viga H.
2. Tome la Plancha Superior (# 5.3) y póngela sobre la Pieza de Fijación Roscada (# 5.2) de modo que los orificios queden coincidentes y luego deberá fijarla roscando los 3 Pernos Hexagonales M20 (# 5.4) como muestra la **Figura 5.5**.
3. Luego deberá fijar la parte inferior de los Soportes Bipartidos de los Rodamientos (# 5.5) en los extremos de la Plancha Superior (# 5.3), uno de cada extremo y colocarlos de tal manera que los orificios de las patas de los soportes queden concéntricos con los de la Plancha Superior. Inserte los Tornillos Hexagonales M12 (# 5.9) para que la fijación de los soportes este lista.
4. Tome el Eje Superior (# 5.6) e inserte la Rueda dentada Conducida (# 5.7) por un extremo de él y después los Rodamientos (# 5.8), uno por cada extremo tal como lo muestra la **Figura 5.5**. **NOTA.** El segmento derecho del Eje Superior fue fabricado para que allá un ajuste con interferencia el cual impedirá la holgura del rodamiento al insertarlo, todo lo contrario del segmento izquierdo ya que este será el apoyo libre del sistema. La Rueda Dentada Conducida deberá quedar perfectamente alineado con la Rueda Motriz y el ángulo de salida de la misma también deberá coincidir con la Pieza Acople de la Cadena, para que esta sea ensamblada y tensada sin ningún tipo de desalineación.
5. Por último deberá fijarse la parte superior de los Soportes de los Rodamientos (# 5.5) para terminar de armar la chumacera. Realice la Fijación con los Tornillos Hexagonales M12 (# 5.9).

7.1.6. Fijación Apernada de la Máquina de Sondeo

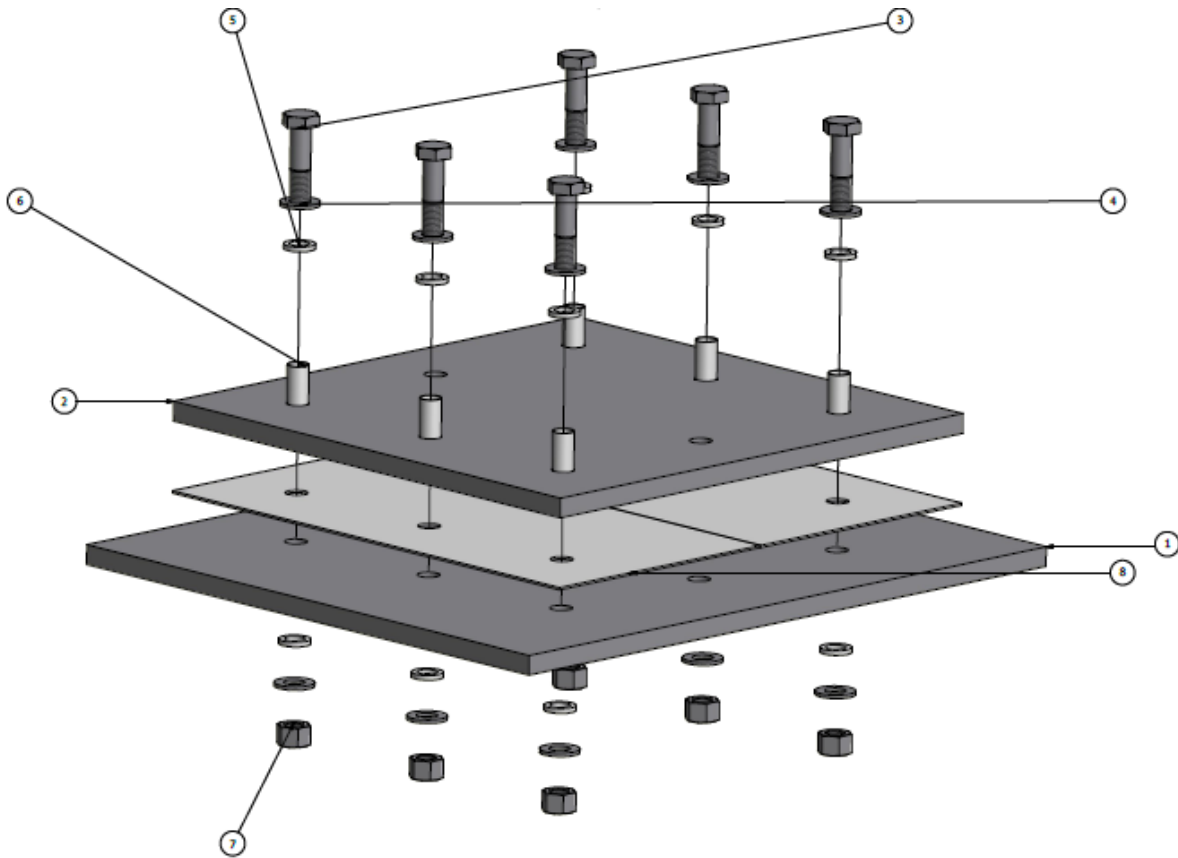


Fig. 7.6. Despiece de la Fijación Apernada de la Base de la Máquina de Sondeo y el Techo del Horno Eléctrico

Tabla 7.6. Lista de Partes de la Base de la Máquina

# Pieza	Elemento	Observación
6.1	Plancha Base Inferior	Acero Estructural A36 de e = 1"
6.2	Plancha Base Superior	Acero Estructural A36 de e = 1"
6.3	Tornillo Hexagonal M24x3	Unión Apernada de la Máquina con la Bóveda del Horno de Reducción
6.4	Arandela Plana	Unión Apernada de la Máquina con la Bóveda del Horno de Reducción. e = 3mm
6.5	Arandela de Aislante Eléctrico	e = 6mm
6.6	Aislante Tubular Eléctrico	Long = 2"
6.7	Tuerca Hexagonal M24x3	Unión Apernada de la Máquina con la Bóveda del Horno de Reducción
6.8	Tabla de Aislante Eléctrico	e = 1,5 mm

***Procedimiento del Ensamblaje***

1. Tome la Plancha Base Inferior (# 6.1) y fíjela a la bóveda o techo del Horno de Reducción, bien sea con una unión soldada o superpuesta con topes que limiten el posible movimiento.
2. Tome la Tabla de Aislante Eléctrico (# 6.8) y póngala sobre la Plancha Base Inferior (# 6.1) de modo que los orificios queden coincidentes, luego deberá colocar encima y de la misma manera como se muestra en la **Figura 5.6.** la Plancha Base Superior la cual esta Soldada a la Estructura de la Máquina de Sondeo, lo cual significa que no será fácil, pues hay que levantar y maniobrar la estructura completa que tiene un peso de 800 kg aproximadamente y una altura de 6 metros.
3. Luego deberá unir la Máquina de Sondeo con el techo del Horno Eléctrico realizando la fijación apornada de la Plancha Base Inferior y Superior. Tome el Tornillo Hexagonal M24x3 (# 6.3) e inserte una Arandela Plana (# 6.4), una Arandela Aislante (# 6.5), un Aislante Tubular (# 6.6) después atravesese las dos Planchas y para terminar la fijación, inserte por debajo otra Arandela Aislante (# 6.5), una Arandela Plana (# 6.4) y por ultimo enrosque la Tuerca Hexagonal (# 6.7).

7.1.7. Protección Refractaria de la Máquina de Sondeo

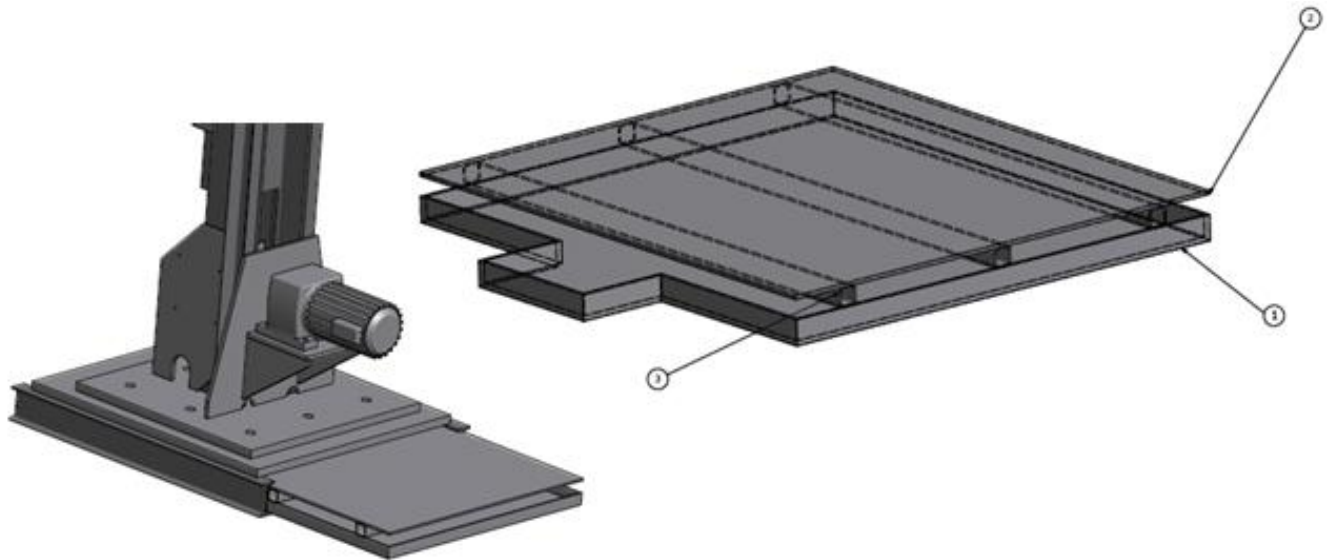


Fig. 7.7. Protección Refractaria y Ensamblaje en la Estructura

Tabla 7.7. Lista de Partes de la Protección Refractaria de la Máquina

# Pieza	Elemento	Observación
7.1	Bandeja para el Vaciado del Refractario	Acero Estructural A36 de e =6mm
7.2	Lámina de Protección	Acero Estructural A36 de e = 6mm, Direcciona el flujo de aire para el intercambio del calor del aire con el refractario
7.3	Tubo Cuadrado Estructural	Tubo Cuadrado 1"x1" para separar el refractario de la lámina de protección

***Procedimiento del Ensamblaje***

- 1.** Tome la Bandeja Inferior (**# 7.1**) y fije encima de ella los tubos estructurales tal como se muestra en la figura 7.7. para separar la lámina de protección de la bandeja.
- 2.** Luego se deberá realizar una junta soldada de la lámina de protección superior (**# 7.2**), sobre los tubos cuadrados estructurales para de esta forma poder direccionar el flujo de aire sobre los espacios formados por la estructuración de la protección refractaria.

**7.1.7. Dimensiones**

La máquina posee aproximadamente las siguientes dimensiones:

Largo = 700 mm; Ancho = 700 mm; Alto = 5800 mm.

**7.1.8. Peso**

La máquina pesa aproximadamente: 790 Kg.

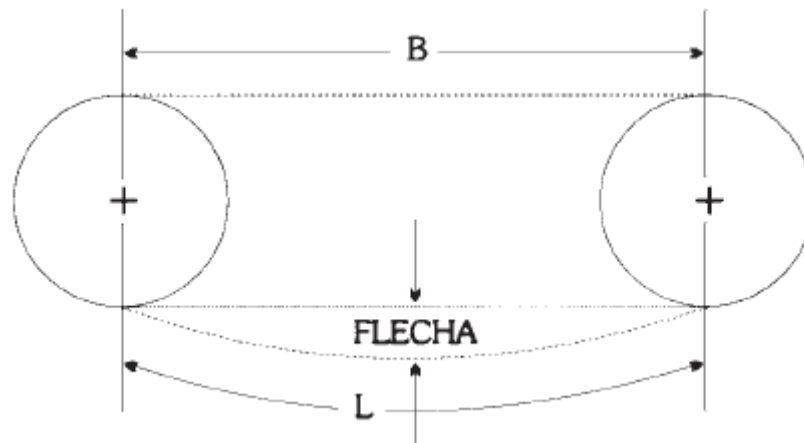
**7.1.9. Cableado**

La máquina deberá ser conectada a una fuente trifásica de 440VCA (60Hz), con un cableado de potencia de THW N° 12.

**7.1.10. Recomendaciones de Instalación.**

1. Asegúrese de que los ejes estén correctos, centrados, paralelos entre sí en todo sentido y además bien soportado por sus chumaceras. Los ejes las chumaceras y la base deben ser lo suficientemente robusto para soportar los esfuerzos y puedan mantener el alineamiento estático inicial.
2. Sitúe las chumaceras lo más cerca posible de las ruedas dentadas pero dejando una amplitud que permita introducir posteriormente modificaciones imprevistas.
3. Asegure un buen ajuste entre el eje y su correspondiente piñón con un sistema de transmisión por chavetero y adicionalmente los tornillos prisioneros de fijación a 90°. los tornillos prisioneros solos, es una mala práctica de ajuste.
4. Deje la cadena con un grado pequeño de tensión inicial. La práctica de tensar la cadena demasiado, le acorta por mucho su vida útil. Y por contrario si la cadena trabaja muy floja produce vibración y ruido. Es preferible tensar de nuevo luego de unas 100 horas de trabajo. Los periodos entre tensionamientos posteriores serán determinados por la observación y el buen criterio. Si se quiere atener a una regla, tenga en cuenta que la flecha del arco o curva que forma el lado flojo de la cadena,

debe ser equivalente por lo menos al 2 o 3% de las distancia entre los centros entre ejes.



**Fig. 7.8. Flecha del lado flojo de la cadena**

5. La cadena debe reemplazarse por una nueva, cuando su elongación pasa ya del  $2^{1/2}\%$  de su longitud original.

## 7.2. Manual de Operación ó Instrucción Operacional

### 7.2.1. General

La máquina de este proyecto fue diseñada para efectuar los procedimientos de sondeo en los Hornos de Eléctricos de Reducción de la planta Loma de Níquel con una lanza de medición cambiable y operada desde la Sala de Control de esa área. Incluye un dispositivo PLC (controlador lógico programable) Siemens Serie 400 en donde se conecta la máquina y este registra el desplazamiento del carro de transporte porta lanza además de controlar el sentido de giro del motor y monitorear la curva de amperaje del mismo a través de un dispositivo llamado SimoCode el cual es gobernado por dicho PLC.

### 7.2.2. Descripción del Sistema de Conexión del Motorreductor

El motorreductor es eléctrico marca SEW EURODRIVE de 1 HP, 440V, trifásico de 4 polos. El reductor de este motor reduce la velocidad de 3600 a las 39 rpm de salida por medio de un sistema de engranajes helicoidales de 3 etapas que permite que el eje de entrada y salida del reductor sean colineales.

El motorreductor está conectado a un SimoCode 3UF50 el cual internamente está compuesto de un relé de sobrecarga con una tarjeta inteligente que proporciona una serie de variables que pueden parametrizarse como, corriente, temperatura, desequilibrio, bloqueo, pérdida de fase, entre otros, y así monitorear el comportamiento del motor en operación. A su vez esta interconectado con el interruptor principal y el contactor principal que recibe las señales discretas ordenadas por el SimoCode en caso de disparo por protección o salidas del umbral de alguna variable. **(Ver el Plano Eléctrico en el Anexo "C"-C20)**. Este dispositivo es controlado por el PLC que da el mando para energizar sistema. El motorreductor mueve un sistema de cadenas y ruedas dentadas que a través de un pieza de acople se fija al carro de transporte, aprovechando de esta forma el desplazamiento vertical del sistema.



**7.2.3. Instrucción Operacional**

<b>INSTRUCCIÓN OPERACIONAL</b>	
<b>LOMA DE NÍQUEL</b>	<b>Fecha de Elaboración: 13/ 10/ 2013</b>
	<b>Área Específica: 420</b>
<b>Título: Instructivo para la Realización del Procedimiento de Sondeo</b>	<b>Código:</b>

**ACTIVIDAD**

Procedimiento de Sondeo en el Horno Eléctrico de Reducción de línea 2 HER 2.

**LUGAR**

Bóveda del Horno de Reducción HRE 2, nivel 10.000

**OPERADOR (ES)**

- Hornero y Operador de Sala de Control 420
- Técnico de Procesos y Operador de Sala de Control 420
- Ing. de Procesos y Operador de Sala de Control 420

**MATERIALES, EQUIPOS, CONDICIONES NECESARIAS Y REGISTROS**

- Lentes de Seguridad, Casco, Mascarilla, Guantes protectores de altas temperaturas (100 °C), Recipiente de Muestra y Lanza de Medición (Están Ubicados en Sitio).
- Es necesario la desconexión del HER para la ejecución de la actividad.

**DESCRIPCIÓN (Llenar la Tabla en caso de que los Pasos estén asociados con Riesgos)**

1. Ubicarse en el nivel 10.000 en la bóveda del HER2
2. Avisar a sala de control, que se va iniciar la actividad de Sondeo para la desconexión del HER2.

**Nota 1:** Mantener el contacto por radio con el Operador de Sala durante toda la actividad

3. Fijar la lanza de medición al porta lanza de la máquina de sondeo (enroscada).

**Nota 2:** Debe de tener cuidado al caminar sobre la bóveda del HER por riesgo de caída.

4. Avisar al Operador de sala que accione la máquina de sondeo en un botón donde estará representado el esquema de máquina en la pantalla de Sala de Operaciones 420.
5. Espere 5 minutos después que la máquina realice la medición para el enfriamiento de la lanza.

**Nota 3:** Nunca intente desmontar la lanza de medición de la máquina, mientras sea reciente la medición.

**Usted observará que la máquina en condiciones normales realizará los siguientes pasos:**

- **El Carro de Transporte estará posicionado en la parte superior, antes del accionamiento.**
- **Luego del accionamiento comenzará el Carro de Transporte a desplazarse hacia abajo en forma vertical y observará que la lanza de medición comenzara a entrar en el baño dentro de del Horno.**
- **Al llegar la lanza de medición al fondo del horno, se invertirá el giro del motor y comenzará el Carro de Transporte a elevarse, hasta llegar a su posición inicial.**
- **Después de finalizar el ciclo de accionamiento, el operador de sala deberá poder apreciar, los valores de nivel de carga dentro del horno como también el nivel de "Build up". Además estos valores se manejarán automáticamente en la red "Wonderware"<sup>2</sup> de la planta.**

**Nota 4:** En un caso extraordinario que la lanza pandee lo suficiente como para no penetrar la costra del baño de mineral en el horno se deberá suspender el ciclo, retirar la lanza, instalar una nueva y comenzar de nuevo la actividad.

6. Colóquese guantes resistentes a altas temperaturas y que sean fácil de manipular
7. Tome las muestras necesarias de escoria y metal que quedarán adheridas a la lanza de medición.

---

<sup>2</sup> "Wonderware", es un software de supervisión gerencial de los procesos industriales que la empresa maneja como herramienta de monitoreo de todos los equipos eléctricos de la planta.

8. Coloque las muestras en los recipientes e identifíquelos para los análisis químicos de laboratorio.
9. Salga del área acordonada de la bóveda del HER2 para proceder a la conexión del mismo.
10. Avise al Operador de Sala que esta lista la actividad, para que conecte y encienda el HER.
11. Regrese a su puesto de trabajo para que pueda visualizar los resultados de la medición que serán monitoreados en la red a tiempo real.

**Tabla 7.8. Riesgos y Control de Riesgos en la Actividad**

<i>PASOS</i>	<i>RIESGO</i>	<i>CONTROL DE RIESGO</i>
DESCONEXIÓN DEL HER2	RIESGO ELÉCTRICO	AVISAR A SALA DE CONTROL Y NO PASAR EL ÁREA ACORDONADA DE LA BÓVEDA DEL HER HASTA ASEGURARSE QUE ESTE COMPLETAMENTE DESENERGIZADO
FIJAR LA LANZA DE MEDICIÓN	RIESGO DE CAÍDA	CAMINAR CON SUMO CUIDADO SOBRE EL TECHO DEL HORNO AL FIJAR LA LANZA, PREFERIBLEMENTE SOBRE LAS VIGAS DE CARGA .
TOMA DE MUESTRAS	RIESGO DE QUEMADURAS	NO DEBE MANIPULAR NI TENER CONTACTO CON LA LANZA DE MEDICIÓN, A MENOS QUE TENGA PUESTO LOS GUANTES RESISTENTES A TEMPERATURA
CONEXIÓN DEL HER2	RIESGO ELÉCTRICO	ASEGURESE DE ESTAR FUERA DEL ÁREA ACORDONADA DE LA BÓVEDA ANTES DE AVISAR AL OPERADOR DE SALA PARA LA CONEXIÓN DEL HER2

**RESULTADOS ESPERADOS**

Se espera de esta actividad una serie de muestras de escoria a diferentes alturas del baño, posiblemente una pequeña muestra de metal. También se espera automáticamente de la medición, el nivel de carga del horno y el nivel de sedimentación "Build Up" dentro de él. Estos valores serán monitoreados en tiempo real en la red interconectada de la planta "Wonderware".

**ANORMALIDADES / ACCIONES A REALIZAR**

**Tabla 7.9. Anormalidades y Acciones Correctivas**

<b>ANORMALIDADES</b>	<b>ACCIONES A REALIZAR</b>
NO SE DETECTA MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTO DEL CARRO DE TRANSPORTE EN LA SALA DE CONTROL	AVISE AL OPERADOR DE SALA PARA SUPENDER LA ACTIVIDAD Y COMUNIQUESE CON EL DPTO. DE MANTENIMIENTO (INSTRUMENTACIÓN)
DESALINEACIÓN EN LA CADENA, DESPLAZAMIENTO IRREGULAR DEL CARRO DE TRANSPORTE	AVISE AL OPERADOR DE SALA PARA SUPENDER LA ACTIVIDAD Y COMUNIQUESE CON EL DPTO. DE MANTENIMIENTO MECÁNICO
MAL AGARRE DE LA LANZA DE MEDICIÓN EN EL PORTA LANZA DEL CARRO DE TRANSPORTE POR DESGASTE DE LA ROSCA HEMBRA	AVISE AL OPERADOR DE SALA PARA SUPENDER LA ACTIVIDAD Y COMUNIQUESE CON EL DPTO. DE MANTENIMIENTO MECÁNICO

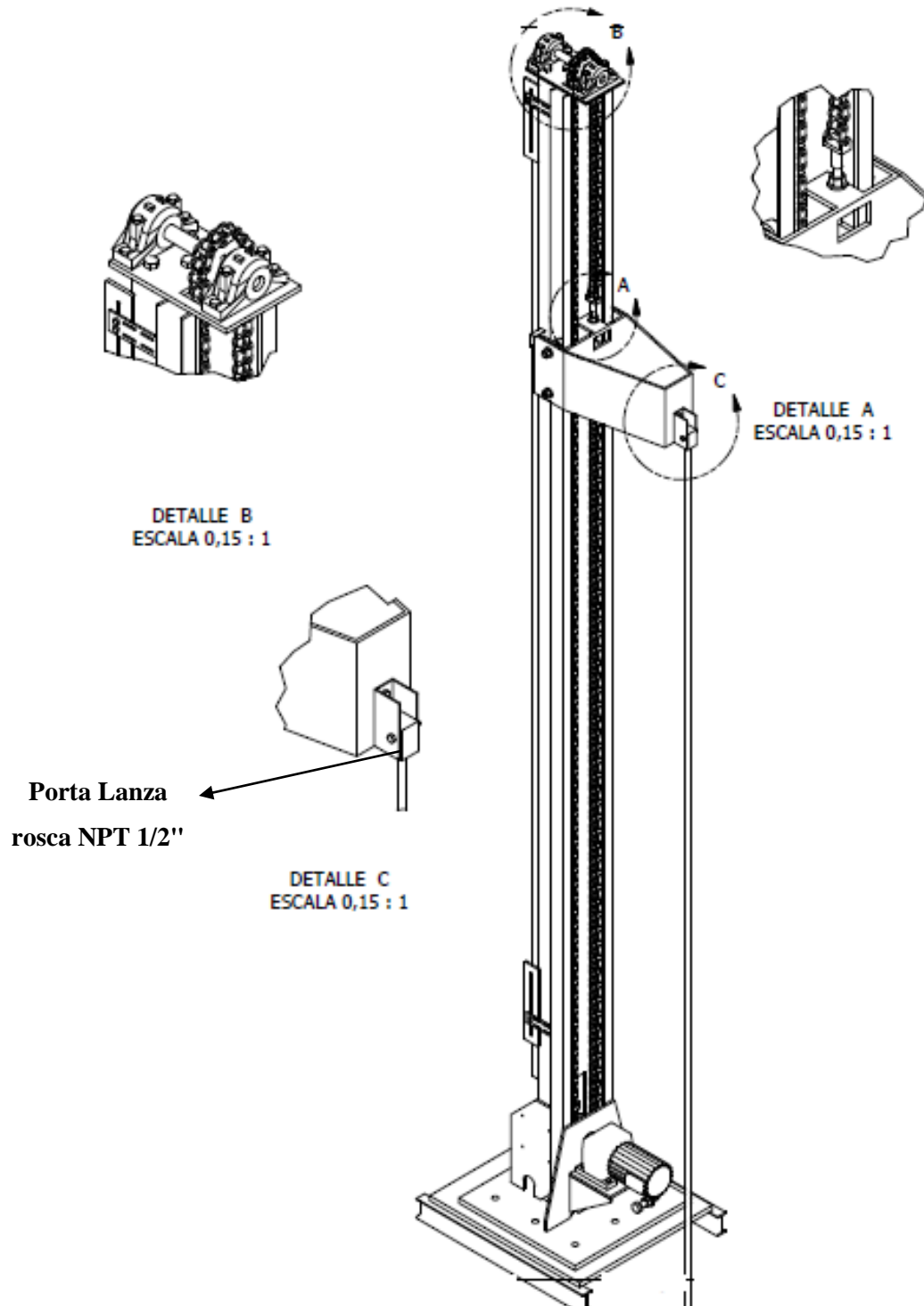


Fig. 7.9. Anexo de la instrucción operacional

**7.3. Mantenimiento en caso de fallas**

Tablas de posibles fallas, causas y actividades de mantenimiento correctivo para suprimir la misma.

**Tabla 7.10. Fallas, Causas y Acciones Correctivas de Mantenimiento**

<i>FALLAS</i>	<i>CAUSAS</i>	<i>CORRECTIVO</i>
<b>Ruido Excesivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piñones mal elaborados</li> <li>• Piñones desalineados</li> <li>• Rodamientos en mal estado o flojos</li> <li>• Carcasa suelta</li> <li>• Cadena muy floja o muy tensa</li> <li>• Desgaste excesivo</li> <li>• Rodillos partidos o faltantes</li> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Cadena con paso muy largo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realinie los piñones</li> <li>• Cambie rodamientos, reapriete las chumaceras</li> <li>• Reemplace cadenas y piñones</li> <li>• Lubrique la cadena</li> <li>• Recalcule la transmisión</li> </ul>
<b>Vibración de la Cadena</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia de elementos externos</li> <li>• Rodillos partidos</li> <li>• Piñones mal elaborados</li> <li>• Ciclo vibratorio de la máquina coincide con el de la cadena</li> <li>• Alta fluctuación de la carga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suprime la interferencia</li> <li>• Reemplace la cadena</li> <li>• Modifique la velocidad de la cadena</li> <li>• Use convertidor hidráulico</li> </ul>
<b>Desgaste por un flanco en los dientes del piñón o piñones y por la parte interior de la cadena</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desaliniamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realinie los piñones y los ejes</li> </ul>
<b>La cadena se monta sobre los dientes de los piñones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste excesivo de la cadena</li> <li>• Muy floja la cadena</li> <li>• Mucha sobre carga, golpes violentos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reemplace la cadena</li> <li>• Tensione la cadena</li> <li>• Reduzca la carga o instale una cadena más capaz</li> </ul>
<b>Rotura de pasadores, bujes, rodillos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piñones mal tallados</li> <li>• Velocidad excesiva para la cadena seleccionada</li> <li>• Choques severos</li> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Material externo acumulado en el fondo de los dientes</li> <li>• Objeto externo introducido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Use cadena de paso más corto o use piñones de mayor diámetro</li> <li>• Reduzca la carga de choque o recalcule la transmisión</li> <li>• Lubrique adecuadamente</li> <li>• Mantenga limpia la transmisión</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retire objeto externo</li> </ul>
<b>La cadena se estira muy rápido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmisión subcalculada</li> <li>• Cadena demasiado tensionada</li> <li>• Lubricación inadecuada o contaminada</li> <li>• Piñones mal hechos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recalcule la transmisión</li> <li>• Distensione la cadena</li> <li>• Lubrique correctamente y mantenga limpio el aceite</li> </ul>
<b>Color rojizo en cadena y aceite</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Recalentamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubrique adecuadamente y no sobrepase el nivel de aceite</li> </ul>
<b>La cadena no articula, muy rígida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desalineamiento</li> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Corrosión</li> <li>• Carga excesiva</li> <li>• Material externos entre los bujes y pasadores de la cadena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realinie piñones y cadena</li> <li>• Lubrique adecuadamente</li> <li>• Proteja contra la corrosión o use cadena de material inoxidable</li> <li>• Reduzca la carga o recalculé la transmisión</li> <li>• Proteja la transmisión contra material externo</li> <li>• Suprima el roce de la cadena contra el metal</li> </ul>
<b>La cadena no se suelta del Piñón, trata de envolverla</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cadena muy floja</li> <li>• Cadena muy desgastada</li> <li>• La distancia entre centros es muy larga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensione incrementando la distancia entre centros</li> <li>• Reemplace la cadena</li> <li>• Instale un tensor</li> </ul>

### Lubricación

Del Anexo "A"-A25 se tiene que la lubricación debido a las condiciones de trabajo y diseño de la transmisión es,

**Lubricación tipo A: A mano con aceitera o brocha con un Aceite Lubricante de una viscosidad SAE 50, según (Anexo "A"-A26).**

## **CONCLUSIONES**

El procedimiento de sondeo de nivel en los hornos de reducción es un procedimiento actualmente extremadamente peligroso en donde se encuentran riesgos de quemaduras graves y caídas del mismo nivel. Por esta razón surge la necesidad del desarrollo de este proyecto.

La aplicación de las técnicas del diseño conceptual generaron una solución al problema de la automatización del procedimiento de sondeo de manera objetiva, en donde se contemplaron diversas opciones para el diseño, bien sea del sistema de funcionamiento, medición, control y estructura de la máquina de sondeos de nivel.

A través de las entrevistas realizadas a los Ingenieros de Procesos de Loma de Níquel, se determino la importancia del procedimiento de sondeo en los Hornos de Reducción para el control del proceso y mantener la integridad de dicho horno.

Del desarrollo del cálculo teórico de cada parte de la máquina y la construcción del equipo expuesta en este trabajo, se pudo observar que fueron totalmente factibles los resultados de estos, tanto en el dimensionamiento de los elementos de la máquina como su conexión y automatización del proceso que este equipo realiza.

Los coeficientes de seguridad de los elementos que conforman la máquina de sondeo de nivel, son un poco altos, ya que el ambiente abrasivo donde se ubicará y la función que va a realizar requiere de elementos robustos y compactos.

El elemento más sensible a las condiciones que se encontraría la máquina de sondeo, es el motorreductor que acciona la transmisión de cadena, ya que este aunque está cubierto de una pintura de altas temperaturas, si el ambiente alcanzara los 60 °C, esta condición comenzara a acortar su vida útil, debido a diferentes factores, como lo son los rodamientos y el recalentamiento del mismo.

Se ha procurado hacer uso de elementos electrónicos para el control y automatización de los accionamientos de la máquina de sondeo, Estos elementos proveen un control seguro, rápido, eficaz y sin desgaste.



Cuando se construye un prototipo de una máquina siempre se incurre en costos adicionales por diseño, en riesgos en la adquisición de elementos o en la construcción propiamente, ya que en ocasiones un elemento se construye o se adquiere más de una vez debido a errores e inexperiencia. Sin embargo una gran ayuda para minimizar estos egresos son los programas computacionales con aplicaciones CAD. En este caso se utilizó el software Inventor Autodesk.

Al colocar en una balanza los beneficios de la implementación de este proyecto vs la inversión realizada, es totalmente rentable y factible. El mitigar los riesgos de accidente del personal de la empresa al realizar esta importante actividad para el proceso, aporta un gran peso a favor, obtener información como los valores del nivel de carga, "***Build up***"<sup>3</sup>, muestras de escoria y metal del mineral dentro del horno de una forma rápida y automatizada son algunas de las cosas que hacen atractivo la implementación de la Máquina de Sondeos de Nivel de los Hornos de Reducción de Níquel, además de destacar la innovación tecnológica que este trae al proceso de producción.

De certificarse en las próximas pruebas de la máquina, el diagrama de flujo que arroje los resultados del nivel de carga automáticamente en la pantalla de sala y en la red wonderware de la empresa, quedaría cerrado el ciclo de la puesta en funcionamiento de la máquina de sondeo en la planta Loma de Níquel.

---

<sup>3</sup> "***Build up***", *Ultima capa de mineral encontrada dentro del Horno Eléctrico de Reducción, debido a la pérdida de calentamiento del arco eléctrico en los niveles más profundos del horno. En esta capa el mineral se encuentra en una contextura pastosa de alta resistencia.*

## **RECOMENDACIONES**

Para que la máquina tenga un buen desempeño en su funcionamiento se recomienda:

- Para el ensamblaje, instalación de la máquina y su operación, se debe seguir cuidadosamente con los pasos descritos en el capítulo VII. Leer el manual de operaciones antes de poner en funcionamiento la Máquina de Sondeo.
- Se debe cumplir con un mantenimiento periódico de la máquina, así se asegura la vida útil de los sistemas que la componen. Igualmente se debe efectuar un chequeo periódico de juntas, uniones y conexiones.
- Aunque la operación del equipo no será continua, debido al ambiente abrasivo y contaminante donde estará fija la máquina de sondeo se recomienda una lubricación periódica en intervalos de 2 meses con lubricante SAE 50 como se describe en el capítulo VII y de este modo mantener la integridad de la cadena del sistema de transmisión.
- En caso de que en el futuro la máquina presente vibraciones excesivas, se deberá hacer una revisión exhaustiva para determinar si hay altas fluctuaciones de carga en el sistema, elementos externos interfiriendo en el funcionamiento o presenta una desalineación la cadena, para luego realizar el correctivo correspondiente a la causa.
- Chequear que la lanza de medición este completamente fijada al porta lanza de la máquina, antes de darle inicio a la actividad.

- Reemplazo de los rodamientos en caso de que se presente un ruido fuera de lo común o calentamiento excesivo en la revisión con el pirómetro. Los análisis estarán a cargo del Departamento de Mantenimiento Predictivo.
- En caso de que el motor dispare por sobrecarga o invierta el giro para elevar el carro de transporte, suponiendo en un caso extremo que no atravesase la costra del material, la máquina se detendrá. Se recomienda que suspenda la actividad y revise la dureza de la costra en ese punto.

### **Recomendaciones para una futura oportunidad de mejora**

El diseño de la máquina de sondeos de nivel en los Hornos de Reducción de Níquel elaborado en este proyecto, se presta para realizar ciertas modificaciones que harían de ésta un diseño superior, sin incrementar significativamente su costo competitivo. Modificaciones que no se efectuaron en este prototipo por no estar dentro de los alcances del proyecto, pero bastantes atractivas para ser consideradas como una oportunidad de mejora.

La primera, es la refrigeración del ambiente donde se encuentra el motor, debido a que él está fijo a una altura mínima de separación de la bóveda del horno. La temperatura del ambiente a esa altura podría llegar a alcanzar los 60 °C en operaciones normales de producción máxima con el Horno Eléctrico a 45 MWA y esto haría que el rodamiento del motorreductor comience a sufrir consecuencias por altas temperaturas y dilataciones de los elementos rodantes aunque las empresas FAG y SKF garantizan la confiabilidad de sus rodamientos a 120°C. Se podría pensar en una guarda protectora con paredes refrigeradas con agua del circuito abierto de los rociadores que enfrían la carcasa de este Horno y colocarle una manta de aislante térmico para obtener una protección tipo pantalla para así disminuir la transferencia de energía entre el ambiente externo de la bóveda y el interno dentro de la guarda del motor. Otra opción para refrigerar la guarda protectora es mediante a una ductería de

aire forzado por un ventilador que se encuentre instalado fuera del perímetro de la bóveda, para que pueda inyectar aire fresco a la guarda y esta diseñarla con unas ventanillas tipo aletas para permitir el flujo de convección forzada entre el aire externo y la disipación del mismo con el aire interno a la guarda. Este ventilador estaría asociado a la misma conexión del motor y en caso de que fallará mostraría una alarma que coloque al equipo en estado de mantenimiento y evite su accionamiento.

La otra modificación va centrada en la realización de la actividad de una forma más independiente en donde el operador intervenga en la fijación de la lanza de medición 1 vez por cada 5 mediciones. Esto se lograría modificando el porta lanza y sustituyéndolo por un sistema de abrazaderas que logre sostener una barra solida de acero de 1" que al sumergirse en el baño de mineral dentro del Horno soporte al menos 5 mediciones antes de deformarse completamente. Teniendo en cuenta que la lanza estaría aproximadamente un 1 minuto dentro del Horno por cada medición.

La tercera mejora que se puede realizar en este proyecto, es adaptarle de alguna manera un sistema que cargue eléctricamente la lanza de medición de modo de poder caracterizar con unos valores parametrizables los niveles de escoria y metal encontrados dentro del horno, monitoreando la resistencia de estos a la conducción de la carga eléctrica en la lanza. Esto nos proporcionaría otro lote de información que traería un sin fin de mejoras para el control del proceso de reducción en la plantas de producción de Níquel, como un control exacto de alimentación del Horno de Reducción y el mejor método de planificación de coladas el cual se podría realizar con esta información a nuestro alcance. Cabe destacar que esta mejora está basada en teorías prácticas y no se ha determinado su factibilidad, pero resultaría muy atractiva su implementación como una mejora del prototipo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Mott, R. (1995). *Diseño de elementos de máquinas* (2da ed.). México.
- Shigley, J. y Charles, R. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica* (8va ed.). México.
- Serway, R. y Jewett, J. (2004). *Física para ciencias e ingeniería* (6ta ed.). México.
- Milani, R. (1997). *Diseño para Nuestra Realidad*. Venezuela
- Munari, B. (1983). *¿Cómo Nacen los Objetos?*. España
- Casillas, A. (1966). *Máquinas, cálculos de taller* (23va ed.). España.
- Saavedra, L. (2010). *Propuesta de mejora de la confiabilidad de las balanzas dosificadoras del Mineral y Carbón que alimentan los Hornos Rotativos Calcinadores, de la Empresa Minera Loma de Níquel*. Tesis. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño, Maracay.
- Hibbeler, R. (2006). *Mecánica de Materiales* (6ta ed.). México.
- CARRIELO, H. y Gilda C. (2008). *Estudio del proceso de granulación de escoria en los Hornos eléctricos de fusión minera Loma de Níquel*. Tesis. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- LOPEZ, C. y Monsalve, R. (2006). *Evaluación de los equipos de medición en Lomas de Níquel*. Tesis. . Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Pepperl, F. (2009). *Catalogo de Sensores Norteamericanos*. Estados Unidos
- Myce. (2009). *Manual y Catalogo del Electricista*. Alemania
- Programa Standard Fag (1979). *Catalogo 41 500 / 2*. España.
- Instituto de seguridad e higiene en el trabajo (2010). *Oxicorte*. España
- Tecnología (2009). *Manual de Ingeniera Mecánica*. España
- Multimateriales (2008). *El Manual del Tornillo*. México
- Innovación (2009). *Cadena tipo Cangilón*. España

Autocad Autodesk Inc. (2013). [Pagina Web en Linea]  
Disponible en: <http://www.autodesk.es>

Inventor. Autodesk Inc. (2013). [Pagina Web en Linea]  
Disponible en: <http://www.autodesk.es>

# ***ANEXOS***

*(Tablas - Figuras - Planos - Entrevistas)*

# ***ANEXO "A"***




**Anexo A 1. Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín Ka**  
 (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{utr}$ kpsi	$S_{utr}$ MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

**Anexo A 2. Propiedades del Acero Estructural ASTM A 36 (Fuente: SUMINDU)**



CALIDAD  
**LAMINA  
HIERRO NEGRO  
A 36**

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL**

NORMAS APROXIMADAS		RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
ASTM	A 36	CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	MANGANESO	CROMO
BS (Ingl)	NO APLICA	C	S	P	Mn	Cr
DIN (Alem)	NO APLICA	0.10 - 0.26	0.05 (Max)	0.04 (Max)	0.80 - 1.20	0.20 (Max)
JIS (Jap)	NO APLICA	SILICIO				
UNI (Ital)	NO APLICA	Si	0.15 - 0.30			

CARACTERÍSTICAS GENERALES		APLICACIONES	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Esta especificación cubre láminas al carbono de calidad estructural.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Estas láminas pueden ser utilizadas para ser soldadas, remachadas o atornilladas en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.</li> </ul>	

PROPIEDADES MECÁNICAS			
ESFUERZO MÁXIMO MPa	LÍMITE DE FLUENCIA MPa	ELONGACION EN 50 mm.	ELONGACION EN 200 mm.
400 - 550	250	23%	20%
DUREZA ROCKWELL B	DUREZA BRINNEL 500Kg	ALARGAMIENTO	FRACTURA ESFUERZO

Anexo A 3. Propiedades Geométricas del Perfil UPN



## UPN

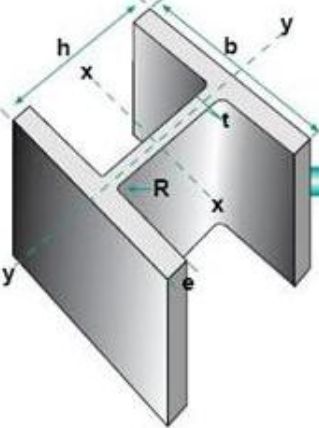
### Perfil Europeo Normal en U de alas inclinadas

DISPONIBILIDAD NORMAL LL  
 VENTA A PEDIDO

UPN	Dimensiones						Sección cm <sup>2</sup>	Peso kg/m
	h	b	t	e	R	R <sub>1</sub>		
	mm							
50	50	38	5,0	7,0	7,0	3,5	7,12	5,59
65	65	42	5,5	7,5	7,5	4,0	9,03	7,09
<b>80</b>	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	8,64
100	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	13,5	10,6
120	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	13,4
140	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	16,0
160	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	18,8
180	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	28,0	22,0
200	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	32,2	25,3
220	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	37,4	29,4
240	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	42,3	33,2
260	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	48,3	37,9
280	280	95	10,0	15,0	15	7,5	53,3	41,8
300	300	100	10,0	16,0	16,0	8,0	58,8	46,2
320	320	100	14,0	17,5	17,5	8,75	75,8	59,5
350	350	100	14,0	16,0	16	0,8	77,3	60,6
380	380	102	13,5	16,0	16	8,0	80,4	63,1
400	400	110	14,0	18,0	18	9,0	91,5	71,8

Anexo A 4. Propiedades Geométricas de la Viga H



## HEB


### Vigas Europeas H de alas anchas normales

DISPONIBILIDAD NORMAL  
 VENTA A PEDIDO

HEB IPB	Dimensiones					Sección	Peso
	h	b	t	e	R	cm <sup>2</sup>	kg/m
	mm						
100	100	100	6,0	10,0	12	26,0	20,4
120	120	120	6,5	11,0	12	34,0	26,7
140	140	140	7,0	12,0	12	43,0	33,7
160	160	160	8,0	13,0	15	54,3	42,6
180	180	180	8,5	14,0	15	65,3	51,2
<span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px;">200</span>	200	200	9,0	15,0	18	78,1	61,3
220	220	220	9,5	16,0	18	91	71,5
240	240	240	10,0	17,0	21	106	83,2
260	260	260	10,0	17,5	24	118	93,0
280	280	280	10,5	18,0	24	131	103,0
300	300	300	11,0	19,0	27	149	117,0
320	320	300	11,5	20,5	27	161,3	127,0
340	340	300	12,0	21,5	27	170,9	134,0
360	360	300	12,5	22,5	27	180,6	142,0
400	400	300	13,5	24,0	27	197,8	155,0
450	450	300	14,0	26,0	27	218,0	171,0
500	500	300	14,5	28,0	27	238,6	187,0

Anexo A 5. Propiedades del Acero AISI 4340 (Fuente: SUMINDU)

		CALIDAD <b>AISI 4340</b> ACERO PARA MAQUINARIAS				
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL		Color de Identificación: Blanco / Verde <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: white; margin-right: 5px;"></span> <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; border: 1px solid black; background-color: green; margin-left: 10px;"></span>				
<b>NORMAS EQUIVALENTES</b>		<b>RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>				
AFNOR (Fr)	35NCD6	CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
BS (Ing)	817M40	C	S	P	Si	Mn
DIN (Ale)	16565	0.30 - 0.43	0.04 (Max)	0.04 (Max)	0.15 - 0.40	0.50 - 0.80
JIS (Jap)	SNCM439	CROMO	NIQUEL	MOLEBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
UNI (Ita)	36NiCrMo4	Cr	Ni	Mo	V	W
Grado Thyssen	34CrNiMo6 (silmar)	0.70 - 1.70	1.3 - 2.00	0.15 - 0.30	—	—
<b>TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL</b>						
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA			
			RC	HBN		
NORMALIZADO	880 - 880	AIRE				
RECOCIDO	830 - 850	HORNO		250 (Max)		
TEMPLE	830 - 860	ACEITE, SALES	59 (Max)			
REVENIDO	500 - 660			280 - 320		
CEMENTACIÓN						

Anexo A 6. Propiedades del Acero AISI 4140 (Fuente: SUMINDU)



CALIDAD  
**AISI 4140**  
ACERO PARA  
MAQUINARIAS

---

Color de Identificación:  
Azul / Negro

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL**

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	40 CD4 , 42 CD4
BS (Ing)	708M40
DIN (Ale)	17225
JIS (Jap)	SCM440
UNI (Ita)	40 CrMo4
Grado Thyssen	42 CrMoS4(42CD4)

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.38 - 0.45	0.04 (Má)	0.04 (Max)	0.10 - 0.40	0.60 - 1.00
CROMO	NIQUEL	MOIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W
0.80 - 1.20	—	0.15 - 0.30	—	—

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es un acero de construcción de baja aleación al Cromo-Molibdeno.</li> <li>● Relativamente alta templabilidad.</li> <li>● Alta resistencia mecánica y tenacidad en estado bonificado.(temple y revenido).</li> <li>● Resistente a la fragilidad de revenido.</li> <li>● Maquinabilidad aceptable</li> <li>● Se suele utilizar en estado bonificado (temple o revenido) o nitrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Elementos de maquinarias en general.</li> <li>● Ejes, cigüeñales, barras de torsión, engranajes de baja velocidad, pernos de alta resistencia, árboles de transmisión.</li> <li>● Se recomienda en general para la fabricación de piezas de medianas dimensiones</li> </ul>

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL				
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO	DUREZA	
			RC	HB
NORMALIZADO	860 – 880	AIRE		
RECOCIDO	830 – 850	HORNO		207 (Max)
TEMPLE	840 – 860	AGUA, ACEITE	59 (Max)	
REVENIDO	550 – 600			260 - 320
CEMENTACIÓN				



Anexo A 7. Propiedades del Acero AISI 1045 (Fuente: SUMINDU)



CALIDAD  
**AISI 1045**  
ACERO PARA  
MAQUINARIAS

Color de Identificación:  
Azul  

**ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DEL MATERIAL**

NORMAS EQUIVALENTES	
AFNOR (Fr)	XC45
BS (Ing)	080 M46
DIN (Ale)	11191
JIS (Jap)	S45C
UNI (Ita)	C45
Grado Thyssen	XC 48H1

RANGOS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA				
CARBONO	AZUFRE	FÓSFORO	SILICIO	MANGANESO
C	S	P	Si	Mn
0.43 - 0.50	0.04 (Máx)	0.04 (Max)	0.15 - 0.35	0.60 - 0.90
CRÓMO	NIQUEL	MOIBDENO	VANADIO	TUNGSTENO
Cr	Ni	Mo	V	W

CARACTERÍSTICAS GENERALES	APLICACIONES
<ul style="list-style-type: none"> <li>Es un Acero de construcción de medio carbono utilizado ampliamente en elementos de maquinarias que requieren mediana resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo.</li> <li>Responde fácilmente al tratamiento térmico de endurecimiento o mediana temple, e especialmente en medios severos como el agua.</li> <li>Buena Maquinabilidad</li> <li>Es comunmente usado en piezas endurecidas superficialmente por inducción o llama oxiacetilénica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elementos de Maquinarias que requieran de medianas propiedades mecánicas a bajo costo.</li> <li>Ejes, engranajes, cigüeñales, espárragos, pernos, abrazaderas, piezas agrícolas, cadenas, etc.</li> </ul>

TRATAMIENTO TÉRMICO DEL MATERIAL				
TRATAMIENTO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRÍAMIENTO	DUREZA	
			RC	HBN
NORMALIZADO	860 - 880	AIRE		197 (Max)
RECOCIDO	830 - 850	HORNO		180 (Max)
TEMPLE	830 - 840	AGUA, ACEITE	60 (Max)	
REVENIDO	200 - 540		54 (Max)	250 (Max)
CEMENTACIÓN				

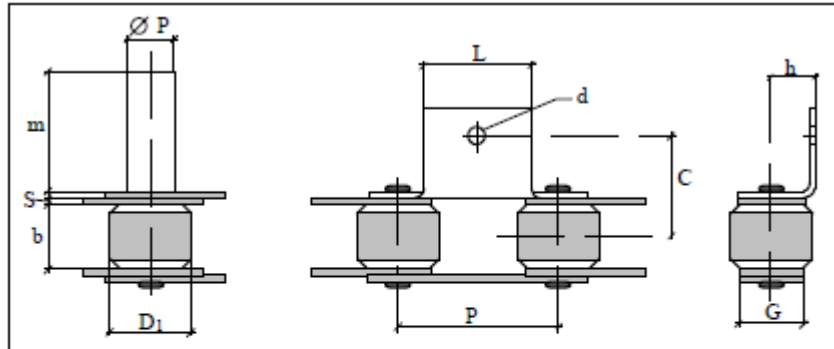


## Anexo A 8. Tubo Conduit Propiedades

TUBERÍA CONDUIT RÍGIDO NMX-J534, CERTIFICADO FM 1630									
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR NOMINAL		ESPESOR NOMINAL		PESO			EMPAQUE	
	pulg	pulg	mm	pulg	mm	kg/m	kg/tubo 3.20 mts	kg/por atado	tubos por atado
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	1.27	4.06	515.179	127	
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	1.68	5.39	684.593	127	
1	1.315	33.4	0.133	3.38	2.50	8.00	728.318	91	
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	3.39	10.83	985.879	91	
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	4.05	12.96	1178.954	91	
2	2.375	60.3	0.154	3.91	5.44	17.41	1062.208	61	
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	8.63	27.61	1021.750	37	
3	3.500	88.9	0.216	5.49	11.29	36.11	686.153	19	
4	4.500	114.3	0.237	6.02	16.07	51.44	977.300	19	

TUBERÍA CONDUIT DE ACUERDO CON LA NORMA UL-6 J534							
ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN	DIMENSIONES		ESPESOR		USOS
U.S.A. ASTM	MÉXICO NMX		DIÁMETRO MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	
A.N.S.I. C.80.1 C.80.2 UL-6	NMX J534	TUBOS DE ACERO PARA PROTECCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS (TUBOS CONDUIT) TIPO PESADO	1/2"	4"	0.109"	0.237"	SISTEMAS ELÉCTRICOS

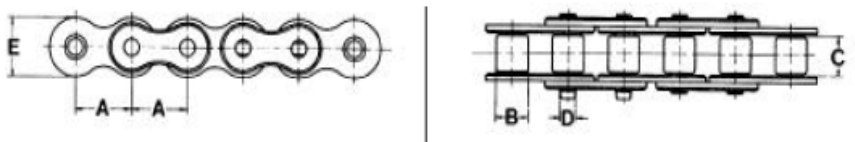
Anexo A 9. Tabla Cadena Tipo Cangilón (Fuente: UCLM – Departamento de Ingeniería Mecánica 2009)



Ref Nº	Paso p mm.	Ancho b mm.	Casquillo D1 mm.	MALLAS		
				Ancho G mm.	Grueso S mm.	
1400	41'3	16	25	20	3	
1401	50'8	16	25	20	3	
1402	69	12	25	20	2'5	
1403	69	13	30	25	3	
1404	75	18	30	25	3	
C mm	H m m	L mm	Ø d mm	m mm	Pivote P Ø mm	Carga de rotura Kg
28	14	25	7	30	10	2500
30	14	35	7	35	11	2500
25	25	55	7	30	10	2500
28	25	55	9	35	12	4000
35	35	55	9	35	12	4500



Anexo A 10. Tabla de Cadena Tipo Rodillo Simple ISO (Fuente: INTERMEC S.A.)



Ref. ISO	Paso A mm	Diámetro Rodillo B mm	Ancho interior C mm	Diámetro Eje $\varnothing$ D mm	Esesor de las placas E en mm	Ancho de los eslabones de unión (mm)	Fuerza de rotura normalizada mini (daN)	Superficie de las articulaciones (cm <sup>2</sup> )	Peso (kg/m)
04 - 1	6	4	2,8	1,85	5	8,4	300	0,07	0,12
05 B - 1	8	5	3	2,31	7,11	11,7	461	0,11	0,19
06 B - 1	9,525	6,35	5,72	3,27	8,3	13,95	910	0,28	0,4
081 - 1	12,7	7,75	3,3	3,64	9,9	10,2	820	0,2	0,28
-	12,7	7,75	4,88	3,64	9,9	11,25	820	0,25	0,33
-	12,7	7,75	6,4	3,97	9,9	16,9	820	0,38	0,5
08 B - 1	12,7	8,5	7,75	4,44	11,8	17,8	1 820	0,5	0,68
10 B - 1	15,875	10,16	9,65	5,07	13,7	20,4	2 270	0,67	0,89
12 B - 1	19,05	12,07	11,68	5,71	16,2	23,75	2 950	0,88	1,18
16 B - 1	25,4	15,88	17,02	8,26	20,6	38,35	4 310	2,07	2,66
20 B - 1	31,75	19,05	19,56	10,17	25,2	46,75	6 580	2,92	3,72
24 B - 1	38,1	25,4	25,4	14,61	33,3	60,45	9 980	5,5	7,05
28 B - 1	44,45	27,94	30,99	15,88	36,8	72,7	13 160	7,35	9,45
32 B - 1	50,8	29,21	30,99	17,79	42,1	72	17 240	8,05	10
-	57,15	34,3	34,3	20	48	79	22 000	10,6	13
40 B - 1	63,5	39,37	38,1	22,87	52,6	90,9	26 770	12,7	16,2
48 B - 1	76,2	48,26	47,7	29,2	64	108,7	40 830	20,5	24,93
56 B - 1	88,9	53,98	53,3	34,3	80	122	63 000	27,87	34

**Anexo A 11. Tabla especificaciones del Motor Reductor SEW EURO DRIVE**  
(Fuente: SEW EURO DRIVE 2012)

Parallel Helical Gear Units



**Selections  
Gearmotors**

Motor Power P <sub>n</sub> HP	Output Speed n <sub>n</sub> rpm	Service Factor	Torque T <sub>n</sub> lb-in	OHL F <sub>na</sub>	Ratio i	Gear Stages <sup>1)</sup>		Gear	Model Motor
						Pr.	Sec.		
<b>1.0</b>	117.0	4.3	540	830	14.56	2	-	R47	DT80N4
	100.0	2.0	590	545	15.63	2	-	R27	DT80N4
	107.0	1.3	590	305	15.84	2	-	R17	DT80N4
	105.0	4.0	600	860	16.22	2	-	R47	DT80N4
	100.0	1.2	630	310	16.99	2	-	R17	DT80N4
	94.0	1.7	670	565	18.08	2	-	R27	DT80N4
	94.0	2.7	670	850	18.05	2	-	R37	DT80N4
	91.0	5.8	690	1130	18.60	2	-	R57	DT80N4
	88.0	1.6	720	575	19.35	2	-	R27	DT80N4
	88.0	2.5	715	870	19.31	2	-	R37	DT80N4
	86.0	1.1	730	310	19.71	2	-	R17	DT80N4
	83.0	1.5	790	580	13.28	2	-	R27	DT90S6
	76.0	1.4	830	590	22.32	2	-	R27	DT80N4
	76.0	2.1	830	900	22.27	2	-	R37	DT80N4
	73.0	3.1	880	950	23.28	2	-	R47	DT80N4
	70.0	2.0	910	920	24.42	3	-	R37	DT80N4
	69.0	1.3	910	805	24.47	3	-	R27	DT80N4
	64.0	2.7	990	990	26.74	2	-	R47	DT80N4
	59.0	1.1	1070	625	28.78	3	-	R27	DT80N4
	59.0	1.7	1070	960	28.73	3	-	R37	DT80N4
	57.0	2.4	1110	1020	29.88	3	-	R47	DT80N4
	52.0	1.5	1200	990	32.40	3	-	R37	DT80N4
	49.0	2.1	1250	1060	34.73	3	-	R47	DT80N4
	46.0	1.3	1360	1020	36.72	3	-	R37	DT80N4
	46.0	2.0	1370	1090	36.93	3	-	R47	DT80N4
	43.0	1.2	1450	1030	39.17	3	-	R37	DT80N4
	42.0	2.6	1510	1410	26.31	2	-	R57	DT90S6
	40.0	1.7	1590	1120	42.87	3	-	R47	DT80N4
	39.0	2.3	1616	1440	43.30	3	-	R57	DT80N4
	38.0	1.1	1660	1090	44.81	3	-	R37	DT80N4
	36.0	1.5	1770	1150	47.75	3	-	R47	DT80N4
	35.0	1.0	1780	1070	48.08	3	-	R37	DT80N4
	35.0	2.2	1790	1490	48.23	3	-	R57	DT80N4
	32.0	1.4	1950	1180	52.69	3	-	R47	DT80N4
	32.0	2.0	1970	1510	53.22	3	-	R57	DT80N4
	31.0	2.0	2010	1520	35.07	3	-	R57	DT90S6
	30.0	1.3	2100	1200	56.73	3	-	R47	DT80N4
	30.0	1.9	2130	1540	57.29	3	-	R57	DT80N4
	30.0	2.5	2110	2090	56.89	3	-	R67	DT80N4
	28.0	2.3	2270	2060	61.26	3	-	R67	DT80N4
26.0	1.1	2390	1230	64.21	3	-	R47	DT80N4	
26.0	1.7	2410	1590	64.85	3	-	R57	DT80N4	
25.0	1.1	2540	1230	68.54	3	-	R47	DT80N4	

NOTES: Consult Assembly Center for additional speed (rpm) selections or dimension pages not listed.  
 See page 42 for available mounting options. See page 156 for weights.  
 Overhung loads (OHL) are at shaft midpoint.  
 See page 121 for index to R gearmotor dimension pages. Dimensions are on pages 122 - 150.  
<sup>1)</sup> Pr. = primary reducer Sec. = secondary reducer.



Anexo A 12. Tabla de la Cuña (Fuente: INTERMEC S.A.)

ESTANDARES DE CUÑAS Y CUÑEROS (CHAVETAS Y CHAVETEROS)							
TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR EN PULGADAS - SECCIÓN CUADRADA		SECCION CUADRADA	SECCION RECTANGULAR	TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTANDAR EN PULGADAS - SECCIÓN RECTANGULAR			
Proporcionados según el diámetro del eje. Diámetro de los correspondientes prisioneros.			Proporcionados según el diámetro del eje. Diámetro de los correspondientes prisioneros.				
DIÁMETRO DEL EJE	ANCHURA Y PROFUNDIDAD DEL CUÑERO	CUÑA DE SECCIÓN CUADRADA.	DIÁMETRO DEL PRISIONERO	DIÁMETRO DEL EJE	ANCHURA Y PROFUNDIDAD DEL CUÑERO	CUÑA DE SECCIÓN RECTANGULAR	DIÁMETRO DEL PRISIONERO
1/2 a 5/8	1/8 x 1/16	1/8 x 1/8	3/16	7/8	3/16 x 1/16	3/16 x 1/8	1/4
5/8 a 7/8	3/16 x 3/32	3/16 x 3/16	3/16	7/8 a 1 1/4	1/4 x 3/32	1/4 x 3/16	3/8
7/8 a 1 1/4	1/4 x 1/8	1/4 x 1/4	1/4	1 1/4 a 1 3/8	5/16 x 1/8	5/16 x 1/4	3/8
1 1/4 a 1 3/8	5/16 x 5/32	5/16 x 5/16	5/16	1 3/8 a 1 3/4	3/8 x 1/8	3/8 x 1/4	3/8
1 3/8 a 1 3/4	3/8 x 3/16	3/8 x 3/8	3/8	1 3/4 a 2 1/4	1/2 x 3/16	1/2 x 3/8	1/2
1 3/4 a 2 1/4	1/2 x 1/4	1/2 x 1/2	1/2	2 1/4 a 2 3/4	5/8 x 7/32	5/8 x 7/16	5/8
2 1/4 a 2 3/4	5/8 x 5/16	5/8 x 5/8	5/8	2 3/4 a 3 1/4	3/4 x 1/4	3/4 x 1/2	5/8
2 3/4 a 3 1/4	3/4 x 3/8	3/4 x 3/4	5/8	3 1/4 a 3 3/4	7/8 x 5/16	7/8 x 5/8	3/4
3 1/4 a 3 3/4	7/8 x 7/16	7/8 x 7/8	3/4	3 3/4 a 4 1/2	1" x 3/8	1" x 3/4	3/4
3 3/4 a 4 1/2	1" x 1/2	1" x 1"	3/4	4 1/2 a 5 1/2	1 1/4 x 7/16	1 1/4 x 7/8	7/8
4 1/2 a 5 1/2	1 1/4 x 5/8	1 1/4 x 1 1/4	7/8	5 1/2 a 6 1/2	1 1/2 x 1/2	1 1/2 x 1"	1"
5 1/2 a 6 1/2	1 1/2 x 3/4	1 1/2 x 1 1/2	1"	6 1/2 a 7 1/2	1 3/4 x 3/4	1 3/4 x 1 1/2	1 1/4
6 1/2 a 7 1/2	1 3/4 x 7/8	1 3/4 x 1 3/4	1 1/4	7 1/2 a 9"	2" x 3/4	2" x 1 1/2	1 1/4
7 1/2 a 9"	2" x 1"	2" x 2"	1 1/4	9" a 11"	2 1/2 x 7/8	2 1/2 x 1 3/4	1 1/4
9" a 11"	2 1/2 x 1 1/4	2 1/2 x 2 1/2	1 1/4				

Anexo A 13. Catalogo FAG Rodamiento 6307-27 (Fuente: Catálogo FAG Kugelfischer Georg Schäfer & Co.)

Rodamientos FAG rígidos de bolas con una hilera										Rodamientos FAG rígidos de bolas con una hilera																															
Dimensiones					Carga dinámica					Materiales					Dimensiones					Carga dinámica					Materiales																
d	D	B	r	r <sub>1</sub>	C	C <sub>10</sub>	C <sub>90</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>100</sub>	Material	Grupos	Grupos	Grupos	Grupos	Grupos	d	D	B	r	r <sub>1</sub>	C	C <sub>10</sub>	C <sub>90</sub>	C <sub>50</sub>	C <sub>100</sub>	Material	Grupos	Grupos	Grupos	Grupos	Grupos										
35	62	22	0,15	0,15	10	10	10	10	10	11000	11000	11000	11000	11000	11000	35	62	22	0,15	0,15	10	10	10	10	10	11000	11000	11000	11000	11000	11000										
40	70	24	0,2	0,2	12	12	12	12	12	13000	13000	13000	13000	13000	40	70	24	0,2	0,2	12	12	12	12	12	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000										
45	78	26	0,25	0,25	14	14	14	14	14	14000	14000	14000	14000	14000	45	78	26	0,25	0,25	14	14	14	14	14	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000									
50	85	28	0,3	0,3	16	16	16	16	16	15000	15000	15000	15000	15000	50	85	28	0,3	0,3	16	16	16	16	16	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000								
55	92	30	0,35	0,35	18	18	18	18	18	16000	16000	16000	16000	16000	55	92	30	0,35	0,35	18	18	18	18	18	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000	16000							
60	100	32	0,4	0,4	20	20	20	20	20	17000	17000	17000	17000	17000	60	100	32	0,4	0,4	20	20	20	20	20	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000						
65	108	34	0,45	0,45	22	22	22	22	22	18000	18000	18000	18000	18000	65	108	34	0,45	0,45	22	22	22	22	22	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000					
70	116	36	0,5	0,5	24	24	24	24	24	19000	19000	19000	19000	19000	70	116	36	0,5	0,5	24	24	24	24	24	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000	19000				
75	124	38	0,55	0,55	26	26	26	26	26	20000	20000	20000	20000	20000	75	124	38	0,55	0,55	26	26	26	26	26	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000			
80	132	40	0,6	0,6	28	28	28	28	28	21000	21000	21000	21000	21000	80	132	40	0,6	0,6	28	28	28	28	28	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000	21000		
85	140	42	0,65	0,65	30	30	30	30	30	22000	22000	22000	22000	22000	85	140	42	0,65	0,65	30	30	30	30	30	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	22000	
90	148	44	0,7	0,7	32	32	32	32	32	23000	23000	23000	23000	23000	90	148	44	0,7	0,7	32	32	32	32	32	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	23000	
95	156	46	0,75	0,75	34	34	34	34	34	24000	24000	24000	24000	24000	95	156	46	0,75	0,75	34	34	34	34	34	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000	24000
100	164	48	0,8	0,8	36	36	36	36	36	25000	25000	25000	25000	25000	100	164	48	0,8	0,8	36	36	36	36	36	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000

**Anexo A 14. Tabla de tipo de Operación Rodamiento (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)**

Tipo de aplicación	Vida, kh
Instrumentos y aparatos de uso poco frecuente	Hasta 0.5
Motores de aeronaves	0.5-2
Máquinas de operación corta o intermitente, donde la interrupción del servicio resulta de poca importancia	4-8
Máquinas de servicio intermitente donde una operación confiable es de gran importancia	8-14
Máquinas para servicio de 8 h, que no siempre se usan completamente	14-20
Máquinas para servicio de 8 h, que se utilizan plenamente	20-30
Máquinas para servicio continuo las 24 h	50-60
Máquinas para un servicio continuo de 24 h, donde la confiabilidad es de suma importancia	100-200

**Anexo A 15. Factores de aplicación de Carga Rodamiento (Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)**

Tipo de aplicación	Factor de carga
Engranajes de precisión	1.0-1.1
Engranajes comerciales	1.1-1.3
Aplicaciones con sellos deficientes en los cojinetes	1.2
Maquinaria sin impactos	1.0-1.2
Maquinaria con impactos ligeros	1.2-1.5
Maquinaria con impactos moderados	1.5-3.0



**Anexo A 17. Coeficiente de Rodadura Comunes (Fuente: Physics for Scientists and Engineers, Serway R. 2004)**

$C_{rr}$	$\mu_r$	<b>Descripción</b>
<b>0,0002 - 0,0010</b>	<b>0,5 m m</b>	Ruedas de ferrocarril sobre railes de acero
	<b>0,1 m m</b>	Rodamientos de bolas en acero sobre acero
<b>0,0025</b>		Neumáticos especiales Michelin para automóvil solar/eco-marathon
<b>0,005</b>		Raíles estándar de tranvía
<b>0,0055</b>		Neumáticos BMX de bicicleta usados para automóviles solares
<b>0,006 - 0,01</b>		Neumáticos de automóvil de baja resistencia y neumáticos de camión sobre carretera lisa
<b>0,010 - 0,015</b>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hormigón
<b>0,020</b>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre losas de piedra
<b>0,030 - 0,035</b>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre alquitrán o asfalto
<b>0.055 - 0.065</b>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena
<b>0,3</b>		Neumáticos ordinarios de automóvil sobre hierba, barro y arena



**Anexo A 18. Tornillos y Tuercas Métricos (Fuente: El Manual del Tornillo “Multimateriales”)**

**TORNILLO HEXAGONAL METRICO**



**Características:**

Acabados Negro y Galvanizado

Cabeza hexagonal, Vienen marcados con “8.8” en la cabeza

Rosca Ordinaria: Parcial (Din 931) y Corrida (DIN 933)

Fina: Parcial (Din 960) y Corrida (DIN 961)

Especificación: ISO- Class 8.8

Diametros	Prueba de carga (Lbs/Pulg <sup>2</sup> )	Resistencia de Tensión (Lbs/Pulg <sup>2</sup> )	Material
Grueso: 3mm a 36mm Largo: 8mm a 200mm	80,000	120,000	Acero al carbono Templado y Revenido

**TUERCA GRADO 8**



**Características:**

Acabado Color Negra

Forma Hexagonal (6 lados) con 3 marcas

Rosca UNC o UNF

**Aliaciones:** Hecha de acero templado medio de aleación de carbono. Lo mejor para aplicaciones que requieren alta resistencia y dureza.

Especificación: ANSI B18.2.2

Diametros	Prueba de carga (Lbs/Pulg <sup>2</sup> )	Dureza Rockwell KG/MM <sup>2</sup>
1/4 a 3”	150,000	105.46

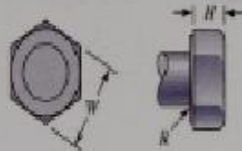
ANEXO A

(Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)

Dimensiones de tuercas hexagonales	Tamaño nominal, pulg		Altura H			
	Ancho W	Hexagonal regular	Gruesa o ranurada	Contra-tuerca		
	$\frac{1}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$	$\frac{9}{32}$	$\frac{5}{32}$	
	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{17}{64}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{3}{16}$	
	$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{21}{64}$	$\frac{13}{32}$	$\frac{7}{32}$	
	$\frac{7}{16}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{29}{64}$	$\frac{1}{4}$	
	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{16}$	
	$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{64}$	$\frac{39}{64}$	$\frac{5}{16}$	
	$\frac{5}{8}$	$\frac{15}{16}$	$\frac{35}{64}$	$\frac{23}{32}$	$\frac{3}{8}$	
	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{8}$	$\frac{41}{64}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{27}{64}$	
	$\frac{7}{8}$	$1\frac{3}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{29}{32}$	$\frac{31}{64}$	
	$1$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{55}{64}$	$1$	$\frac{35}{64}$	
	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{11}{16}$	$\frac{31}{32}$	$1\frac{5}{32}$	$\frac{39}{64}$	
	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{16}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{23}{32}$	
	$1\frac{3}{8}$	$2\frac{1}{16}$	$1\frac{11}{64}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{25}{32}$	
	$1\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{9}{32}$	$1\frac{1}{2}$	$\frac{27}{32}$	
	Tamaño nominal, mm					
	M5	8	4.7	5.1	2.7	
	M6	10	5.2	5.7	3.2	
	M8	13	6.8	7.5	4.0	
	M10	16	8.4	9.3	5.0	
	M12	18	10.8	12.0	6.0	
	M14	21	12.8	14.1	7.0	
	M16	24	14.8	16.4	8.0	
	M20	30	18.0	20.3	10.0	
	M24	36	21.5	23.9	12.0	
	M30	46	25.6	28.6	15.0	
	M36	55	31.0	34.7	18.0	
M16	24	10.75	0.6	27	10.75	0.6
M20	30	13.40	0.8	34	13.40	0.8

ANEXO A

(Fuente: Diseño en Ingeniería Mecánica Shigley 2008)




Tamaño nominal, pulg	Tipo de cabeza										
	Cuadrada		Hexagonal regular			Hexagonal pesada			Hexagonal estructural		
	W	H	W	H	R <sub>min</sub>	W	H	R <sub>min</sub>	W	H	R <sub>min</sub>
1/4	3/8	11/64	7/16	11/64	0.01						
5/16	1/2	13/64	1/2	7/32	0.01						
3/8	5/16	1/2	9/16	1/4	0.01						
7/16	3/4	19/64	5/8	19/64	0.01						
1/2	7/8	21/64	3/4	11/32	0.01	7/8	11/32	0.01	7/8	5/16	0.009
5/8	1 1/16	27/64	15/16	27/64	0.02	1 1/16	27/64	0.02	1 1/16	25/64	0.021
3/4	1 1/8	1	1 1/8	1/2	0.02	1 1/4	1/2	0.02	1 1/4	15/32	0.021
1	1 1/2	21/32	1 1/2	43/64	0.03	1 5/8	43/64	0.03	1 5/8	39/64	0.062
1 1/8	1 11/16	3/4	1 11/16	3/4	0.03	1 13/16	3/4	0.03	1 13/16	11/16	0.062
1 1/4	1 7/8	27/32	1 7/8	27/32	0.03	2	27/32	0.03	2	25/32	0.062
1 3/8	2 1/16	29/32	2 1/16	29/32	0.03	2 3/16	29/32	0.03	2 3/16	27/32	0.062
1 1/2	2 1/4	1	2 1/4	1	0.03	2 3/8	1	0.03	2 3/8	15/16	0.062

Tamaño nominal, mm											
M5	8	3.58	8	3.58	0.2						
M6			10	4.38	0.3						
M8			13	5.68	0.4						
M10			16	6.85	0.4						
M12			18	7.95	0.6	21	7.95	0.6			
M14			21	9.25	0.6	24	9.25	0.6			
M16			24	10.75	0.6	27	10.75	0.6	27	10.75	0.6
M20			30	13.40	0.8	34	13.40	0.8	34	13.40	0.8

Anexo A 19. Torque de Apriete de los Tornillos Métricos (Fuente: El Manual del Tornillo “Multimateriales”)

**Pares de apriete de los tornillos métricos**



Tornillo	Grado 4.8		Grado 8.8 o 9.8				Grado 10.9				Grado 12.9					
	Engrasado <sup>a</sup>		Seco <sup>b</sup>		Engrasado <sup>a</sup>		Seco <sup>b</sup>		Engrasado <sup>a</sup>		Seco <sup>b</sup>		Engrasado <sup>a</sup>		Seco <sup>b</sup>	
Díámetro	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in	Nm	lb-in
M6	4.7	42	6	53	8.9	79	11.3	100	13	115	16.5	146	15.5	137	19.5	172
M8	11.5	102	14.5	128	22	194	27.5	243	32	23.5	40	29.5	37	27.5	47	35
M10	23	204	29	21	43	32	55	40	63	46	80	59	75	55	95	70
M12	40	29.5	50	37	75	55	95	70	110	80	140	105	130	95	165	120
M14	63	46	80	59	120	88	150	110	175	130	220	165	205	150	260	190
M16	100	74	125	92	190	140	240	175	275	200	350	255	320	235	400	300
M18	135	100	170	125	265	195	330	245	375	275	475	350	440	325	560	410
M20	190	140	245	180	375	275	475	350	530	390	675	500	625	460	790	580
M22	265	195	330	245	510	375	650	480	725	535	920	680	850	625	1080	800
M24	330	245	425	315	650	480	820	600	920	680	1150	850	1080	800	1350	1000
M27	490	360	625	460	950	700	1200	885	1350	1000	1700	1250	1580	1160	2000	1475
M30	660	490	850	625	1290	950	1630	1200	1850	1350	2300	1700	2140	1580	2700	2000
M33	900	665	1150	850	1750	1300	2200	1625	2500	1850	3150	2325	2900	2150	3700	2730
M36	1150	850	1450	1075	2250	1650	2850	2100	3200	2350	4050	3000	3750	2770	4750	3500

Los pares de apriete que figuran en esta tabla se recomiendan para uso general. NO UTILIZAR estos valores si se especifica un par de apriete o procedimiento de apriete diferente para una aplicación específica. Para aplicaciones específicas con insertos de plástico o tuercas de freno de núcleo de acero, para tornillos de sujeción de acero inoxidable y tuercas para tornillos en U, tomar los pares de apriete relacionados en la tabla. Apretar los insertos de plástico y las tuercas de núcleo de plástico con el par de apriete que se indica en la tabla para tornillos "secos", a menos que se indique lo contrario para esta aplicación específica.

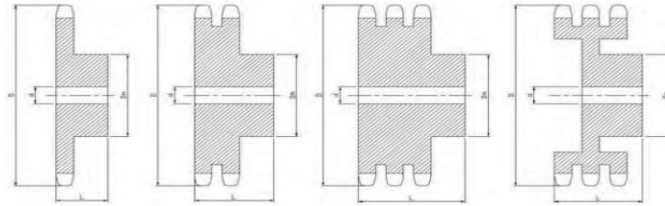
Los bulones de cizallamiento están diseñados para romperse bajo cargas determinadas. Sustituir siempre los bulones de cizallamiento por bulones de idéntico grado. Los tornillos deben ser sustituidos por otros de grado similar o superior. En caso de utilizar tornillos de sujeción de grado superior, apretarlos siempre con el par de apriete de los originales. Asegurarse de que las roscas de los tornillos están limpias y que toman la rosca correctamente. Engrasar, siempre que sea posible, fijaciones normales o cascadas, excepto tuercas y tornillos y tuercas de ruedas, a menos que se indique lo contrario para la aplicación en concreto.

<sup>a</sup>Engrasado<sup>a</sup> significa que se utilizan tornillos a los que se les aplica un lubricante como por ejemplo, aceite motor, y tornillos recubiertos de aceite o fosfato, o de zinc JDM F13C de M20 o mayores.

<sup>b</sup>Seco<sup>b</sup> significa que se utilizan tornillos normales o cincados sin lubricación alguna, o tornillos entre M6 y M18 recubiertos de zinc JDM F13B.

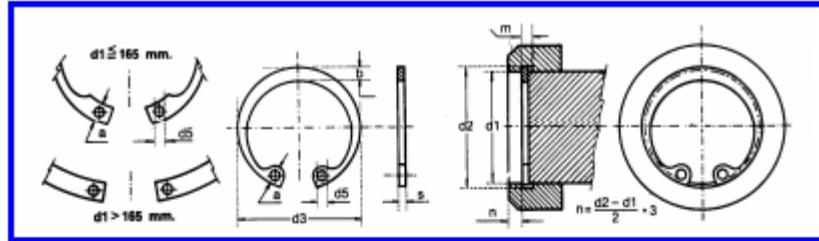
**Anexo A 20. Especificaciones de las Ruedas Dentadas Paso 1 ¼” Tipo B Sencillo (Fuente: INTERMEC S.A.)**

Dimensiones en Milímetros



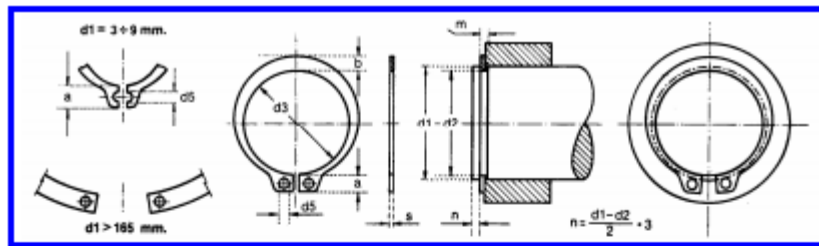
REF	D	SENCILLOS			REF	DOBLES			REF	TRIPLES		
		Dm	L	d		Dm	L	d		Dm	L	d
100B9 R	106,3	72	48	25,40	100-2B9	61	75	25,40	100-3B9	61	117	25,40
100B10 R	116,3	82	48	25,40	100-2B10	70	73	25,40	100-3B10	70	117	25,40
100B11 R	127,0	90	48	25,40	100-2B11	70	73	25,40	100-3B11	70	117	25,40
100B12 R	137,4	102	48	25,40	100-2B12	86	73	28,58	100-3B12	86	117	28,58
100B13	147,8	98	42	25,40	100-2B13	97	73	28,58	100-3B13	97	108	28,58
100B14	158,1	106	41	31,75	100-2B14	100	73	28,58	100-3B14	100	108	28,58
100B15	168,4	114	44	31,75	100-2B15	117	79	31,75	100-3B15	117	108	31,75
100B16	178,6	114	44	33,34	100-2B16	127	79	31,75	100-3B16	127	113	31,75
100B17	188,7	118	48	33,34	100-2B17	133	79	31,75	100-3B17	133	113	31,75
100B18	199,1	114	45	33,34	100-2B18	133	79	31,75	100-3B18	133	113	31,75
100B19	209,3	114	51	33,34	100-2B19	140	86	31,75	100-3B19	140	113	31,75
100B20	219,5	114	51	33,34	100-2B20	140	87	31,75	100-3B20	140	113	31,75
100B21	229,7	114	51	33,34	100-2B21	140	86	31,75	100-3B21	140	113	31,75
100B22	239,8	114	51	33,34	100-2B22	140	86	31,75	100-3B22	140	113	31,75
100B23	249,9	114	51	31,75	100-2B23	140	86	31,75	100-3B23	140	113	31,75
100B24	260,1	114	51	31,75	100-2B24	140	86	31,75	100-3B24	140	113	31,75
100B25	270,3	114	51	31,75	100-2B25	146	86	31,75	100-3B25	146	113	31,75
100B26	280,4	127	51	31,75	100-2B26	146	86	38,10	100-3B26	146	113	38,10
100B27	290,6	127	51	31,75	100-2B27	146	86	38,10	100-3B27	146	113	38,10
100B28	300,7	127	51	31,75	100-2B28	146	86	38,10	100-3B28	146	113	38,10
100B29	310,9	127	51	31,75	100-2B29	146	86	38,10	100-3B29	146	114	38,10
100B30	321,1	127	51	31,75	100-2B30	146	86	38,10	100-3B30	146	114	38,10
100B31	331,3	127	51	31,75	100-2B31	146	86	38,10	100-3B31	146	114	38,10
100B32	341,4	127	51	31,75	100-2B32	146	86	38,10	100-3B32	146	114	38,10
100B33	351,6	127	51	31,75	100-2B33	146	86	38,10	100-3B33	146	114	38,10
100B34	361,7	127	51	31,75	100-2B34	146	86	38,10	100-3B34	146	114	38,10
100B35	371,9	127	63	31,75	100-2B35	146	86	38,10	100-3B35	146	114	38,10
100B36	382,0	127	64	31,75	100-2B36	146	86	38,10	100-3B36	146	114	38,10
100B37	392,1	127	64	31,75	100-2B37	146	86	38,10	100-3B37	146	114	38,10
100B38	402,1	127	64	31,75	100-2B38	146	86	38,10	100-3B38	146	114	38,10
100B39	412,3	127	64	38,10	100-2B39	146	86	38,10	100-3B39	146	114	38,10
100B40	422,4	127	64	31,75	100-2B40	146	86	38,10	100-3B40	146	114	38,10
100B41	432,6	127	64	31,75	100-2B41	146	86	38,10	100-3B41	146	114	38,10
100B42	442,7	127	64	31,75	100-2B42	146	86	38,10	100-3B42	146	114	38,10
100B43	452,8	127	64	31,75	100-2B43	146	86	38,10	100-3B43	146	114	38,10
100B44	462,9	127	64	31,75	100-2B44	146	86	38,10	100-3B44	146	114	38,10
100B45	473,2	127	64	38,10	100-2B45	146	86	38,10	100-3B45	146	114	38,10

Anexo A 21. Tabla de Anillos Reten Interno DIN 472 (Fuente: Rulemanes de Mayo "Anillos Seeger")



Med.Nom.	ANILLO						RANURA				
d1	s h 11	d3	Tolerancia d3	a $\approx$	b $\approx$	d5 Min.	d2	Tolerancia d2	m Min.		
8	0,80	8,7	+0,36 -0,16	2,4	1,1	1,0	9,9	+0,11	0,90		
9		9,8		2,5	1,3		10,4				
10		10,8		3,2	1,4		10,9				
11	1,00	11,8	+0,42 -0,13	3,3	1,5	1,2	11,4	+0,15	1,10		
12		13,0		3,4	1,7		12,5				
13		14,1		3,6	1,8	13,6					
14		15,1		3,7	1,9	14,6					
15		16,2			2,0	15,7					
16		17,3		3,8	2,1	16,8					
17		18,3		3,9		17,8					
18		19,5		4,1	2,2	19,0	2,0			+0,21	1,30
19		20,5			2,3	20,0					
20		21,5			2,4	21,0					
21	22,5	4,2	2,5	22,0	2,5	+0,25	1,60				
22	23,5		2,6	23,0							
23	24,6	4,4	2,6	24,1	2,5	+0,25	1,85				
24	25,9		2,7	25,2							
25	26,9		2,8	26,2							
26	27,9	4,7	2,8	27,2	3,0	+0,25	1,60				
27	29,1	2,9	28,4								
28	30,1	4,8	3,0	29,4	3,0	+0,25	1,60				
29	31,1		3,1	30,4							
30	32,1		3,2	31,4							
31	33,4	5,2	3,1	32,7	3,1	+0,25	1,60				
32	34,4		3,2	33,7							
33	35,5		3,3	34,7							
34	36,5	5,4	3,3	35,7	3,3	+0,25	1,60				
35	37,8		3,4	37,0							
36	38,8	5,5	3,5	38,0	3,5	+0,25	1,60				
37	39,8		3,6	39,0							
38	40,8		3,7	40,0							
39	42,0	5,5	3,8	41,0	3,8	+0,25	1,60				
40	43,5	5,6	3,9	42,5							
41	44,5	5,8	4,0	43,5	4,0	+0,25	1,60				
42	45,5		4,1	44,5							
43	46,5	5,9	4,2	45,5							

Anexo A 22. Tabla de Anillos Reten Externo DIN 471 (Fuente: Rulemanes de Mayo "Anillos Seeger")



Med.Nom.	ANILLO						RANURA		
	a h 11	d3	Tolerancia d3	a $\approx$	b $\approx$	d5 Min.	d2	Tolerancia d2	m Min.
3		2.7		1.9	0.8		2.8		0.50
4	0,4	3.7	+0,04	2.2	0.9	1,0	3.8	-0,04	0,70
5	0,6	4.7	-0,15	2.5	1.1		4.8		0,80
6	0,7	5.8		2.7	1.3		5.7		0,90
7		6.5	+0,06	3.1	1.4	1,2	6.7	-0,06	
8	0,8	7.4	-0,18	3.2	1.5		7.6		
9		8.4			1.7		8.6		
10		9.3		3.3		1,5	9.6		
11		10.2			1.8		10.5		
12		11.0					11.5		
13	1,0	11.9	+0,10	3.4	2.0		12.4	-0,11	1,10
14		12.9	-0,36	3.5	2.1	1,7	13.4		
15		13.8		3.6	2.2		14.3		
16		14.7		3.7	2.2		15.2		
17		15.7		3.8	2.3		16.2		
18		16.5		3.9	2.4		17.0		
19		17.5			2.5		18.0		
20		18.5	+0,13	4.0	2.6		19.0	-0,15	1,30
21		19.5	-0,42	4.1	2.7		20.0		
22	1,2	20.5		4.2	2.8		21.0		
23		21.5		4.3	2.9		22.0		
24		22.2		4.4	3.0	2,0	22.9		
25		23.2					23.9		
26		24.2		4.5	3.1		24.9		
27		24.9	+0,21	4.6	3.2		25.6	-0,21	
28		25.9	-0,42	4.7	3.2		26.6		
29		26.9		4.8	3.3		27.6		
30		27.9		5.0	3.4		28.6		
31		28.8			3.5		29.3		
32	1,5	29.6	+0,25	5.2	3.6		30.3	-0,25	1,60
33		30.5	-0,50		3.7		31.3		
34		31.5		5.4	3.8	2,5	32.3		
35		32.2		5.6	3.9		33.0		
36		33.2		5.7	4.0		34.0		
37	1,75	34.2			4.1		35.0		1,85
38		35.2		5.8	4.2		36.0		

**Anexo A 23. Certificado de cumplimiento de especificaciones E 6010 (Fuente: LINCOLN ELECTRIC)**

**LINCOLN<sup>®</sup>**  
**ELECTRIC**  
Lincoln Soldaduras de Venezuela C.A.

**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES PARA ELECTRODOS**

El presente certifica que el electrodo **GRICON 29** clasificación **E6010**, corresponde a la misma clasificación, proceso de manufactura y materiales que los electrodos utilizados para llevar a cabo todas las pruebas estipuladas en las especificaciones **AWS/ASME SFA 5.1**. De acuerdo con las mismas, los electrodos cumplieron con todos los requerimientos. La siguiente tabla muestra los valores típicos:

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS Y ANÁLISIS QUÍMICO DEL MATERIAL DEPOSITADO

	ESPECIFICACIÓN AWS/ASME	Diámetro 4,0 mm (5/32")		Diámetro 5,0 mm (3/16")	
		CA	CC (+)	CA	CC (+)
Corriente (amp.)	---	140	175	20	175
Espesor de la Plancha (mm)	20 mínimo	20	20	20	20
Nº de Pases / Capas	---	21 / 7	21 / 7	15 / 7	15 / 7
Temp. Pre calentamiento (°C)	105 mínimo	105	105	105	105
Temp. entre pases (°C)	105 - 175	150	150	150	150
Resistencia a la Tracción (N/mm <sup>2</sup> )	430 mínimo	544	544	514	514
Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	330 mínimo	448	448	438	438
Elongación (%) en 2"	22 mínimo	28	28	29	29
Propiedades de Impacto (Charpy ranura "V") N.m (J) a -30 °C	27 mínimo	53	53	54	54
Composición Química del Metal Depositado (% máximo)					
C	0,20	0,11	0,11	0,10	0,10
Mn	1,20	0,60	0,60	0,53	0,53
Si	1,00	0,29	0,29	0,32	0,32
S	No Especificado	0,005	0,005	0,007	0,007
P	No Especificado	0,010	0,010	0,012	0,012
Humedad del Revestimiento (%)	No Especificado	3,0	3,0	3,0	3,0

Nota: Las pruebas para diámetros 2,50 mm (3/32") y 3,25 mm (1/8") no son requeridas en las especificaciones.  
Prueba Radiográfica Grado 2: Cumple con las especificaciones.  
Prueba de Soldadura de Filete (Posiciones Requeridas): Cumple con las especificaciones.

LINCOLN SOLDADURAS  
DE VENEZUELA  
DE GESTIÓN  
DE CALIDAD  
Jefe de Gestión de la Calidad

**Anexo A 24. Certificado de cumplimiento de especificaciones E 7018 (Fuente: LINCOLN ELECTRIC)**

**LINCOLN<sup>®</sup>**  
**ELECTRIC**  
Lincoln Soldaduras de Venezuela C.A.

**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES PARA ELECTRODOS**

El presente certifica que el electrodo **GRICON 15** clasificación **E7018**, corresponde a la misma clasificación, proceso de manufactura y materiales que los electrodos utilizados para llevar a cabo todas las pruebas estipuladas en las especificaciones **AWS/ASME SFA 5.1**. De acuerdo con las mismas, los electrodos cumplieron con todos los requerimientos. La siguiente tabla muestra los valores típicos:

CONDICIONES DE OPERACIÓN Y RESULTADOS DE PRUEBAS MECÁNICAS Y ANÁLISIS QUÍMICO DEL MATERIAL DEPOSITADO

	ESPECIFICACIÓN AWS/ASME	Diámetro 4,0 mm (5/32")		Diámetro 5,0 mm (3/16")	
		CA	CC (+)	CA	CC (+)
Corriente (amp.)	---	175	170	205	200
Espesor de la Plancha (mm)	20 mínimo	20	20	20	20
Nº de Pases / Capas	---	21 / 8	21 / 8	19 / 7	19 / 7
Temp. Pre calentamiento (°C)	105 mínimo	105	105	105	105
Temp. entre pases (°C)	105 - 175	120	120	120	120
Resistencia a la Tracción (N/mm <sup>2</sup> )	490 mínimo	584	564	559	566
Límite Elástico (N/mm <sup>2</sup> )	400 mínimo	508	478	479	462
Elongación (%) en 2"	22 mínimo	26	28	27	27
Propiedades de Impacto (Charpy ranura "V") N.m (J) a -30 °C	27 mínimo	132	133	133	132
Composición Química del Metal Depositado (% máximo)					
C	0,15	0,06	0,05	0,06	0,05
Mn	1,60	1,28	1,26	1,22	1,25
Si	0,75	0,47	0,56	0,59	0,54
P	0,035	0,014	0,017	0,016	0,019
Ni	0,035	0,018	0,020	0,018	0,022
Cr	0,30	0,013	0,024	0,010	0,016
Mo	0,20	0,021	0,026	0,020	0,022
V	0,30	0,009	0,011	0,009	0,011
Aleación Total (Excepto C, Si S y P)	0,08	0,006	0,005	0,004	0,005
Humedad del Revestimiento (%)	1,75	1,33	1,33	1,26	1,30
Humedad del Revestimiento (%)	0,6 máximo	0,1	0,1	0,1	0,1

Nota: Las pruebas para diámetros 2,50 mm (3/32") y 3,25 mm (1/8") no son requeridas en las especificaciones.  
Prueba Radiográfica Grado 1: Cumple con las especificaciones.  
Prueba de Soldadura de Filete (posiciones requeridas): Cumple con las especificaciones.

LINCOLN SOLDADURAS  
DE VENEZUELA  
DE GESTIÓN  
DE CALIDAD  
Jefe de Gestión de la Calidad



Anexo A 25. Tabla de Tipo de Lubricación por Capacidad (Fuente: INTERMEC S.A.)

No. de dientes piñón conductor	R.P.M DEL PIÑÓN CONDUCTOR																																				
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2700												
9	0.65	1.49	2.78	5.19	7.47	9.68	13.9	18.1	22.1	26.0	29.6	24.2	20.3	17.4	15.0	13.2	11.7	10.5	8.57	7.19	6.13	5.32	4.67	4.14	0												
10	0.73	1.67	3.11	5.81	8.37	10.8	15.6	20.2	24.7	29.2	33.5	28.4	23.8	20.3	17.6	15.5	13.7	12.3	10.0	8.42	7.19	6.23	5.47	4.85	0												
11	0.81	1.85	3.45	6.44	9.28	12.0	17.3	22.4	27.4	32.3	37.1	32.8	27.5	23.4	20.3	17.8	15.8	14.2	11.6	9.71	8.29	7.19	6.31	1.29	0												
12	0.89	2.03	3.79	7.08	10.2	13.2	19.0	24.6	30.1	35.5	40.8	37.3	31.3	26.7	23.2	20.3	18.0	16.1	13.2	11.1	9.45	8.19	7.19	0													
13	0.97	2.22	4.13	7.72	11.1	14.4	20.7	26.9	32.8	38.7	44.5	42.1	35.3	30.1	26.1	22.9	20.3	18.2	14.9	12.5	10.6	9.23	8.10	0													
14	1.05	2.40	4.48	8.36	12.0	15.6	22.5	29.1	35.6	41.9	48.2	47.0	39.4	33.7	29.2	25.6	22.7	20.3	16.6	13.9	11.9	10.3	9.05	0													
15	1.13	2.59	4.83	9.01	13.0	16.8	24.2	31.4	38.3	45.2	51.9	52.2	43.7	37.3	32.4	28.4	25.2	22.5	18.4	15.5	13.2	11.4	10.0	0													
16	1.22	2.77	5.17	9.66	13.9	18.0	26.0	33.6	41.1	48.4	55.6	57.5	48.2	41.1	35.7	31.3	27.7	24.8	20.3	17.0	14.5	12.6	11.1	0													
17	1.30	2.96	5.52	10.3	14.8	19.2	27.7	35.9	43.9	51.7	59.4	63.0	52.8	45.0	39.0	34.3	30.4	27.2	22.3	18.7	15.9	13.8	0.79	0													
18	1.38	3.15	5.88	11.0	15.8	20.5	29.5	38.2	46.7	55.0	63.2	68.6	57.5	49.1	42.5	37.3	33.1	29.6	24.2	20.3	17.4	15.0	0														
19	1.46	3.34	6.23	11.6	16.7	21.7	31.2	40.5	49.5	58.3	67.0	74.4	62.3	53.2	46.1	40.5	35.9	32.1	26.3	22.0	18.8	16.3	0														
20	1.55	3.53	6.58	12.3	17.7	22.9	33.0	42.8	52.3	61.6	70.8	79.8	67.3	57.5	49.8	43.7	38.8	34.7	28.4	23.8	20.3	17.6	0														
21	1.63	3.72	6.94	13.0	18.7	24.2	34.8	45.1	55.1	65.0	74.6	84.2	72.4	61.8	53.6	47.0	41.7	37.3	30.6	25.6	21.9	19.0	0														
22	1.71	3.91	7.30	13.6	19.6	25.4	36.6	47.4	58.0	68.3	78.5	88.5	77.7	66.3	57.5	50.4	44.7	40.0	32.8	27.5	23.4	20.3	0														
23	1.80	4.10	7.66	14.3	20.6	26.7	38.4	49.8	60.8	71.7	82.3	92.8	83.0	70.9	61.4	53.9	47.8	42.8	35.0	29.4	25.1	7.74	0														
24	1.88	4.30	8.02	15.0	21.5	27.9	40.2	52.1	63.7	75.0	86.2	97.2	88.5	75.6	65.5	57.5	51.0	45.6	37.3	31.3	26.7	0															
25	1.97	4.49	8.38	15.6	22.5	29.2	42.0	54.4	66.6	78.4	90.1	102	94.1	80.3	69.6	61.1	54.2	48.5	39.7	33.3	28.4	0															
26	2.05	4.68	8.74	16.3	23.5	30.4	43.8	56.8	69.4	81.8	94.0	106	99.8	85.2	73.8	64.8	57.5	51.4	42.1	35.3	30.1	0															
28	2.22	5.07	9.47	17.7	25.5	33.0	47.5	61.5	75.2	88.6	102	115	112	95.2	82.5	72.4	64.2	57.5	47.0	39.4	33.7	0															
30	2.40	5.47	10.2	19.0	27.4	35.5	51.2	66.3	81.0	95.5	110	124	124	106	91.5	80.3	71.2	63.7	52.2	43.7	10.0	0															
32	2.57	5.86	10.9	20.4	29.4	38.1	54.9	71.1	86.9	102	118	133	136	116	101	88.5	78.5	70.2	57.5	48.2	0																
35	2.83	6.46	12.0	22.5	32.4	42.0	60.4	78.3	95.7	113	130	146	156	133	115	101	89.8	80.3	65.8	55.1	0																
40	3.27	7.46	13.9	26.0	37.4	48.5	69.8	90.4	111	130	150	169	188	163	141	124	110	98.1	80.3	0																	
45	3.71	8.47	15.8	29.5	42.5	55.0	79.3	103	126	148	170	192	213	194	168	148	131	117	45.3	0																	
	Lubricación Tipo A			Lubricación Tipo B										Lubricación Tipo C																							
<p>LUBRICACIÓN TIPO A: A mano, con aceitera o brocha.                  LUBRICACIÓN TIPO B: En baño de aceite o por salpique.                  LUBRICACIÓN TIPO C: Al chorro bajo presión.</p> <p>La información contenida en estas tablas está basada en los estándares de la ASOCIACION AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS ( American Chain Association).                  INFORMACIÓN INTERMEC</p> <p>* Para velocidades comprendidas dentro de la zona entre rayas punteadas, considérese</p>													<p>Quando se trata de cadenas de hilera múltiple de este peso, multiplique la capacidad por:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>No. DE HILERAS</th> <th>FACTOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 .....</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>3 .....</td> <td>2.5</td> </tr> <tr> <td>4 .....</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>5 .....</td> <td>3.9</td> </tr> </tbody> </table>															No. DE HILERAS	FACTOR	2 .....	1.7	3 .....	2.5	4 .....	3.3	5 .....	3.9
No. DE HILERAS	FACTOR																																				
2 .....	1.7																																				
3 .....	2.5																																				
4 .....	3.3																																				
5 .....	3.9																																				

*ANEXO A*

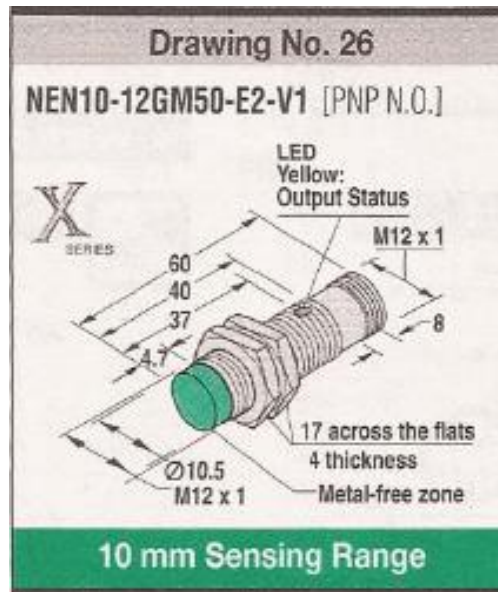
**Anexo A 26. Tipo de Lubricación según la Temperatura de Trabajo (*Fuente: INTERMEC S.A.*)**

<b>Temperatura Ambiental Grados Centigrados</b>	<b>Viscosidad Grados SAE del aceite lubricante</b>
6 a 5	SAE 20
5 a 38	SAE30
38 a 49	SAE40
49 a 60	SAE 50

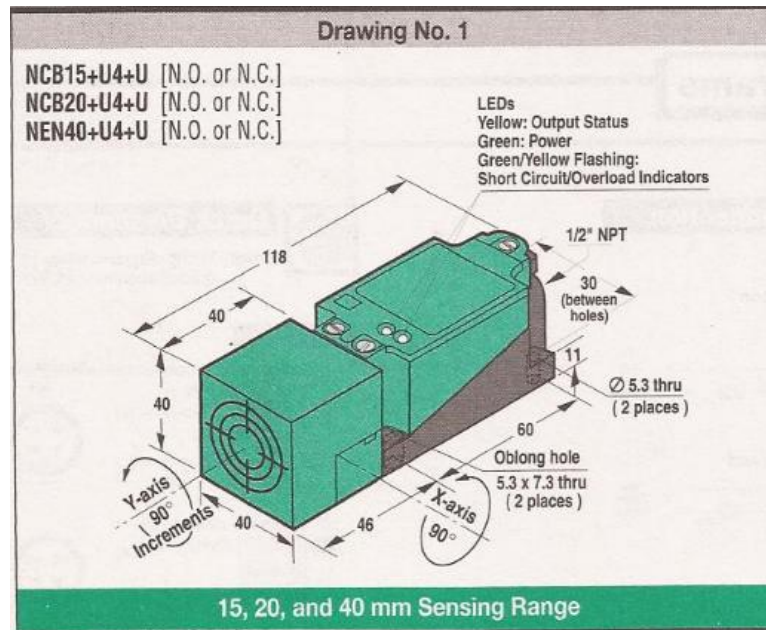
**Anexo A 27. Consumo de los Motores Asincrónicos Trifásicos 50/60 Hz**  
 (Fuente: Schneider Electric.)

Potencia	433/										
	220V	230V	380V	400V	415V	440V	460V	575V	660V	1000V	
	(1)	(1)		(1)		(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	
KW	CV	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,37	0,5	1,8	2	1,03	0,98	-	0,99	1	0,8	0,6	0,4
0,55	0,75	2,75	2,8	1,6	1,5	-	1,36	1,4	1,1	0,9	0,6
0,75	1	3,5	3,6	2	1,9	2	1,68	1,6	1,4	1,1	0,75
1,1	1,5	4,4	5,2	2,6	2,5	2,5	2,37	2,6	2,1	1,5	1
1,5	2	6,1	6,8	3,5	3,4	3,5	3,06	3,4	2,7	2	1,3
2,2	3	8,7	9,6	5	4,8	5	4,42	4,8	3,9	2,8	1,9
3	-	11,5	-	6,6	6,3	6,5	5,77	-	-	3,8	2,5
-	5	-	15,2	-	-	-	-	7,6	6,1	-	3
4	-	14,5	-	8,5	8,1	8,4	7,9	-	-	4,9	3,3
5,5	7,5	20	22	11,5	11	11	10,4	11	9	6,6	4,5
7,5	10	27	28	15,5	14,8	14	13,7	14	11	6,9	6
9	-	32	-	18,5	18,1	17	16,9	-	-	10,6	7
11	15	39	42	22	21	21	20,1	21	17	14	9
15	20	52	54	30	28,5	28	26,5	27	22	17,3	12
18,5	25	64	68	37	35	35	32,8	34	27	21,9	14,5
22	30	75	80	44	42	40	39	40	32	25,4	17
30	40	103	104	60	57	55	51,5	52	41	34,6	23
37	50	126	130	72	69	66	64	65	52	42	28
45	60	150	154	85	81	80	76	77	62	49	33
55	75	182	192	105	100	100	90	96	77	61	40
75	100	240	248	138	131	135	125	124	99	82	53
90	125	295	312	170	162	165	146	156	125	98	65
110	150	356	360	205	195	200	178	180	144	118	78
132	-	425	-	245	233	240	215	-	-	140	90
-	200	472	480	273	222	260	236	240	192	152	100
160	-	520	-	300	285	280	256	-	-	170	115
-	250	-	600	-	-	-	-	300	240	200	138
200	-	626	-	370	352	340	321	-	-	215	150
220	300	700	720	408	388	385	353	360	288	235	160
250	350	800	840	460	437	425	401	420	336	274	200
280	-	-	-	528	-	-	-	-	-	-	220
315	-	990	-	584	555	535	505	-	-	337	239
-	450	-	1080	-	-	-	-	540	432	-	250
355	-	1150	-	635	605	580	549	-	-	370	262
-	500	-	1200	-	-	-	-	600	480	-	273
400	-	1250	-	710	675	650	611	-	-	410	288
450	600	-	1440	-	-	-	-	720	576	-	320

Anexo A 28. Sensor de Proximidad Inductivo (*Fuente: Catalogo Pepperl Fuchs*)



Anexo A 29. Sensor Inductivo Limit Switch (*Fuente: Catalogo Pepperl Fuchs*)

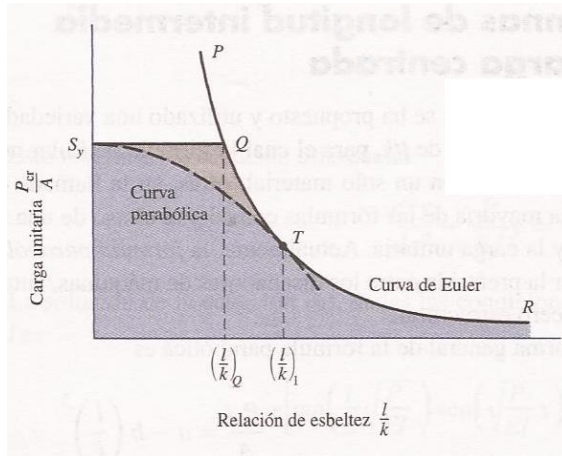


<b>Technical Specifications</b>	
SUPPLY VOLTAGE	20-250 VAC/20-300 VDC
LOAD CURRENT ( $I_L$ )	400 mA max.
LEAKAGE CURRENT (OFF-STATE)	$\leq 1.7$ mA
OUTPUT <span style="float: right;"><i>Suffix U</i></span>	Normally open or normally closed
VOLTAGE DROP AT $I_L$ (MAX.)	$\leq 7$ V
INRUSH CURRENT	$\leq 3$ A/20 ms
HYSTERESIS	3-15% (5% typical)
SHORT CIRCUIT AND OVERLOAD PROTECTION	Yes
REVERSE POLARITY PROTECTED	Nonpolarity sensitive
LED INDICATION	See dimension drawings
SENSING FACE MATERIAL	PBT
STANDARDS	EN 60947-5-2
ENVIRONMENTAL PROTECTION	IP68
AMBIENT TEMPERATURE	-13 °F to +158 °F (-25 °C to +70 °C)
APPROVALS	



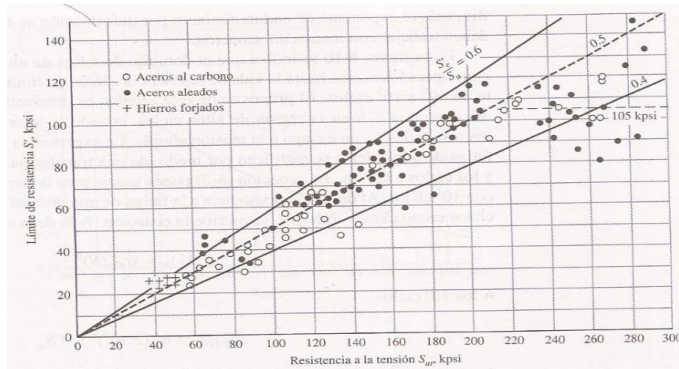
# ***ANEXO "B"***

Anexo B 1



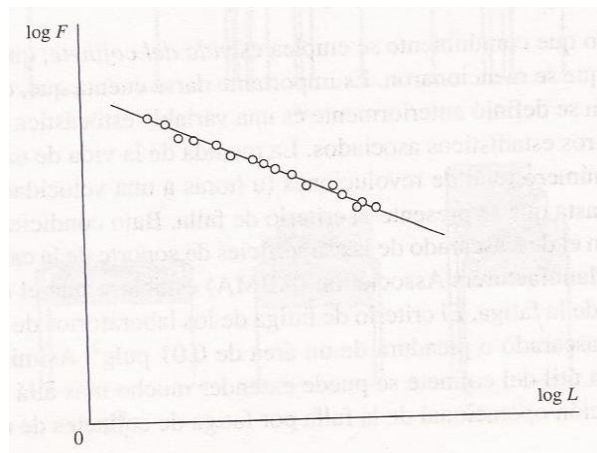
Grafica de la Curva de Euler mediante la ecuación de la Formula para Columnas, con  $C = 1$  (Fuente: Shigley 2008)

Anexo B 2



Grafica de Resistencia a la Fatiga vs. Resistencia a la tensión ensayos reales (Fuente: Shigley 2008)

Anexo B 3



Curva típica Log-Log de Carga vida del Rodamiento (Fuente: Shigley 2008)



Anexo B 4



Placa de identificación del motor

Anexo B 5



Rueda dentada, Primera etapa de Fabricación

Anexo B 6



Fresado del perfil de los dientes de la Rueda dentada

**Anexo B 7**



**Desbaste de la ranura del cuñero**

**Anexo B 8**



**Rueda dentada**

**Anexo B 9**



**Ensamblaje Eje - Piñón**

**Anexo B 10**



**Eje Superior**

**Anexo B 11**



**Personal de Apoyo**

**Anexo B 12**



**Carro de Transporte de la Lanza de Medición**

**Anexo B 13**



**Motorreductor cubierta con una película de pintura de alta temperatura**

**Anexo B 14**



**Soporte – Rodamiento con los separadores**

**Anexo B 15**



**Ensamblaje eje – piñón - soportes**

**Anexo B 16**



**Vista Superior del equipo ensamblado**

**Anexo B 17**



**Fabricación de Tensores acoples a la Cadena**

**Anexo B 18**



**Vista lateral de equipo**

**Anexo B 19**



**Personal de apoyo**

**Anexo B 20**



**Instalación de la base en el Horno de Reducción**

**Anexo B 21**



**Soldadura de la Base del equipo en el Horno de Reducción**

**Anexo B 22**



**Instalación del equipo en el horno de reducción**

**Anexo B 23**



**Instalación del equipo en el horno de reducción**

**Anexo B 24**



**Equipo ensamblado**

**Anexo B 25**



**Equipo instalado en el Horno de Reducción**

**Anexo B 26**



**Equipo instalado en el Horno de Reducción**


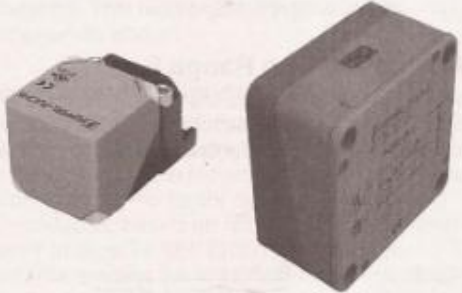


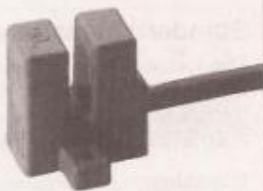

**Anexo B 27**



**Equipo instalado en el Horno de Reducción**



Anexo B28

<p><b>Surface Mount</b></p> <p>This sensor contains a sensing face that is field changeable to any one of five positions, from front to top to both sides to bottom. This sensor has the same mounting dimensions as a standard style limit switch, therefore, this sensor is used as a replacement for electro-mechanical limit switches.</p>  	<p><b>Cylindrical</b></p> <p>The sensing field is in the front of the sensing device. The sensor is activated when a target enters the sensing field in an axial or lateral direction.</p> 
<p><b>PMI Series</b></p> <p>Analog measurement sensors for linear position evaluation.</p>  <p>Analog sensors are also available in cylindrical housing for axial sensing.</p>	<p><b>Slot</b></p> <p>The sensing field is concentrated between two coils on a common axis. The sensor is activated when a metallic object (target) enters the area between the coils.</p>  <p><b>Ring</b></p> <p>The sensing field is concentrated inside the ring. The sensor is activated when a metallic object enters the ring.</p> 

**Sensores Inductivos de Proximidad (Fuente: Catalogo Pepperl Fuchs)**

# ***ANEXO “C”***

# ***ANEXO “D”***



Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica

**Entrevista a los Ingenieros del Dpto. de Procesos**

**Nombre:**

- 1. Según su experiencia, ¿ Que información determina el Dpto. de Procesos con la realización del procedimiento de Sondeos en los Hornos de Reducción?**
- 2. Según su criterio, ¿Porque es indispensable la información que nos arroja el sondeo para el control del proceso?**
- 3. ¿Porque el mejor procedimiento para obtener la información que se obtiene de los sondeos es precisamente este?**
- 4. Según su posición de In. de Procesos ¿ Que espera usted que realice el equipo a Diseñar?**
- 5. Considera usted ¿ Que el procedimiento actual para la realización de sondeo es un acto inseguro para los operadores?**

**Entrevista: Ingeniero Edgar Gonzáles (Ing. de Procesos)**

Fecha: 25/ 02/ 2013

Hora: 3:00 pm

Lugar: Oficina de Ingenieros de Procesos

**Objetivo:**

- Determinar el ¿Qué? y ¿Porque? se realiza el Sondeo
- Determinar si el Sondeo es indispensable para el control eficiente del proceso
- Determinar ¿Que espera el Dpto. de Procesos del equipo de Sondeo a diseñar?

**1. Según su experiencia, ¿Que información determina el Dpto. de Procesos con la realización del procedimiento de Sondeos en los Hornos de Reducción?**

De este procedimiento podemos obtener información valiosa y precisa, como lo son los niveles de carga máximos dentro del horno, el nivel de build-up el cual es un material que no se encuentra en un estado definido, parecido a una masa y que se asienta en el fondo del horno debido a que en operación normal este suele enfriarse y además como información adicional pero no tan precisa, algunas veces por inspección visual, determinamos debido a la contextura de la barra luego de que se realiza el sondeo, ¿qué tanto hay de metal? y ¿qué tanto hay de escoria? por las medidas referenciales, pero no siempre se puede apreciar y Realizamos análisis químicos de la escoria con el material que se queda enconchado en la barra mas sin embargo el mejor método para analizar la escoria es el desescoriado.

**2. Según su criterio, ¿Porque es indispensable la información que nos arroja el sondeo para el control del proceso?**

Esta información es muy importante, ya que es una herramienta de control que nos permite mantener los niveles de carga estables en los hornos de reducción, también podemos aumentar la capacidad de fusión, reteniendo la cantidad optima de energía dentro del horno y los tiempos de sangrado de escoria y metal serán mas

precisos ya que nuestro criterio para la planificación sería en base a data experimental, lo cual es más exacto.

**3. ¿Porque el mejor procedimiento para obtener la información que se obtiene de los sondeos es precisamente este?**

Bueno, según tengo entendido hay otro método en donde podemos conseguir los defases dentro del horno, además del nivel de carga máximo y nivel de build-up, pero este, es por medio de un instrumento que trabaja por un sonar o algo así y es muy costoso para la empresa (500.000 \$) y en realidad no sabemos a ciencia cierta cual será el tiempo de vida útil del instrumento dentro de las condiciones extremas en donde será instalado. No hemos tenido información sobre eso. Sin embargo el sondeo es el método más factible, práctico y se obtiene más información visual. Este procedimiento de sondeos, lo presenciamos por primera vez en una planta en Sudáfrica.

**4. Según su posición de Ing. de Procesos ¿Que espera usted que realice el equipo a Diseñar?**

Bueno la información principal y precisa que obtenemos del sondeo es la medición de los niveles de carga y el nivel de build-up, por lo tanto al momento de obtener esos dos datos, la barra de medición la puedes dejar consumir en el baño si quieres, porque los análisis químicos que le estábamos haciendo al material que se quedaba adherido en la barra se estaban realizando porque los hornos no estaban en operación normal ya que estaba parada la planta, pero ahora que arranco línea 1 y que próximamente arrancara línea 2, no es necesario porque podríamos hacer el desescoriado que es el método de análisis químico más preciso y en tal caso que necesitáramos de un análisis de la escoria dentro del horno, se realizara una medición y se tomara la muestra aparte. Si fuera por mí, haría sondeo cada dos horas porque así podemos ver si podemos caracterizar algún comportamiento del horno y si es posible que se realice con el horno conectado. Claro, sé que es algo complicado, pero sería lo ideal.

- 5. Considera usted ¿Que el procedimiento actual para la realización de sondeo es un acto inseguro para los operadores?**

Si, definitivamente.

**Entrevista: Ingeniero Joseph Montilla (Ing. de Procesos)**

Fecha: 01/ 03/ 2013

Hora: 9:20 am

Lugar: Oficina de Ingenieros de Procesos

**Objetivo:**

- Determinar el ¿Qué? y ¿Porque? se realiza el Sondeo
- Determinar si el Sondeo es indispensable para el control eficiente del proceso
- Determinar ¿Que espera el Dpto. de Procesos del equipo de Sondeo a diseñar?

**1. Según su experiencia, ¿Que información determina el Dpto. de Procesos con la realización del procedimiento de Sondeos en los Hornos de Reducción?**

Obtenemos mediciones del nivel de carga y nivel de build-up dentro del horno, aparte de eso, se hace un muestreo, se toman dos muestras de escoria en la parte inferior y otra en la parte superior de la barra luego de extraerla del baño, que son importante para el análisis químico de escoria en condiciones operacionales no optimas. Normalmente este análisis químico se hace por sangrado pero también se usa como método auxiliar, además si se encuentra metal, se analiza químicamente también.

**2. Según su criterio, ¿Porque es indispensable la información que nos arroja el sondeo para el control del proceso?**

Bueno, es importante porque nos da como un inventario de cuanto nivel de metal hay dentro del horno, aunque es un poco incierto, pero los niveles de carga y nivel de build-up es importante para la alimentación del horno, a mi parecer.

**3. ¿Porque el mejor procedimiento para obtener la información que se obtiene de los sondeos es precisamente este?**

No creo que contemos con otro procedimiento



**4. Según su posición de Ing. de Procesos ¿ Que espera usted que realice el equipo a Diseñar?**

Bueno, espero mayor facilidad en la toma de medición, que no necesite ningún tipo de personal involucrado, por las condiciones de inseguridad y seria ventajoso no desconectar el horno.

**5. Considera usted ¿Que el procedimiento actual para la realización de sondeo es un acto inseguro para los operadores?**

Es muy inseguro, porque la barra sale muy caliente y puede ocasionar quemaduras y además las condiciones ambientales no son las mejores para realizar un trabajo de ese tipo.

**Entrevista: Ingeniero Hayde Barrios (Ing. de Procesos)**

Fecha: 05/ 03/ 2013

Hora: 10:00 am

Lugar: Oficina del Jefe de Procesos

**Objetivo:**

- Determinar el ¿Qué? y ¿Porque? se realiza el Sondeo
- Determinar si el Sondeo es indispensable para el control eficiente del proceso
- Determinar ¿Que espera el Dpto. de Procesos del equipo de Sondeo a diseñar?

**1. Según su experiencia, ¿Que información determina el Dpto. de Procesos con la realización del procedimiento de Sondeos en los Hornos de Reducción?**

Obtener información de los niveles de carga máximos dentro del horno, el nivel de build-up el cual es un material que no se encuentra en un estado definido la cual se asienta en el fondo del horno debido a que en operación normal este suele enfriarse y además algunas veces, en el procedimiento se toman dos muestras de escoria en la parte inferior y otra en la parte superior de la barra luego de extraerla del baño, que son importantes para el análisis químico de escoria en condiciones operacionales no optimas.

**2. Según su criterio, ¿Porque es indispensable la información que nos arroja el sondeo para el control del proceso?**

Es una herramienta de control muy importante ya que permite mantener los niveles de carga estables en los hornos de reducción y además ofrece de cuanto nivel de metal hay dentro del horno.

**3. ¿Porque el mejor procedimiento para obtener la información que se obtiene de los sondeos es precisamente este?**

Existen otros métodos en donde se puede conseguir los niveles de carga dentro del horno de reducción, además del nivel de carga máximo y nivel de material sedimentado. Pero el sondeo es el método más factible y práctico.

**4. Según su posición de Ing. de Procesos ¿Que espera usted que realice el equipo a Diseñar?**

Bueno, espero mayor facilidad en la toma de medición, que no necesite ningún tipo de personal involucrado, por las condiciones de inseguridad y sería ventajoso no desconectar el horno.

**5. Considera usted ¿Que el procedimiento actual para la realización de sondeo es un acto inseguro para los operadores?**

Si, es muy probable.

# ***ANEXO "E"***

## **RESEÑA HISTÓRICA DE LA EMPRESA**

Loma de Níquel, C.A. filial de PDVSA Industrial S.A. es una empresa que se encarga de la explotación y procesamiento del mineral de Níquel proveniente del yacimiento Loma de Hierro, que se encuentra entre los Municipio Guaicapuro, del Estado Miranda y Santos Michelena, del Estado Aragua.

Los cambios históricos que han sacudido al mundo a finales de la década pasada, y que llevaron a la apertura de las barreras, tanto políticas como económicas, están transfigurando a Latino América. Venezuela toma un nuevo rumbo a partir de 1990, y busca reducir su tradicional dependencia de las exportaciones petroleras, reactivando el sector minero, el cual posee grandes expectativas de progreso.

Las explotaciones realizadas en Loma de Hierro, indican que este yacimiento contiene alrededor de 38,5 millones de toneladas de material con un contenido de 1,48 % promedio de Níquel. Los estudios fueron realizados por las empresas INCO de Canadá, Societé Le Nickel de Francia y el Gobierno Venezolano.

El reconocimiento a escala nacional de áreas potenciales de laterita niquelífera, así como la prospección de carácter regional en el yacimiento de Loma de Hierro y sus alrededores, fueron realizados por la Dirección de Geología del Ministerio de Energía y Minas de Venezuela en la década de los 60 a través de los años varias compañías interesadas en la producción de níquel han investigado la factibilidad de la explotación y procesamiento del mineral.

Al mismo tiempo, la explotación de Loma de Níquel se ve favorecida, por su excelente localización, muy cercana a la infraestructura necesaria para su desarrollo que sumada a las facilidades energéticas que ofrece Venezuela, convierten este su operación en un proyecto rentable.

El yacimiento se encuentra a 8 kilómetros de una línea eléctrica de alta tensión y un gasoducto cercano por el norte. El agua necesaria se obtiene de los ríos locales, mediante obras hidráulicas especializadas, construidas en las inmediaciones del yacimiento.

Loma de Níquel está situada a 20 kilómetros de la Autopista Regional del Centro, la cual transita por las ciudades industriales más importantes del país.

## *ANEXO E*

La producción de Loma de Níquel estimada, es de 18 mil toneladas al año de ferroníquel, que equivale al 3% del aporte mundial de este valioso metal usado para aleaciones especiales como el acero inoxidable.

El 11 de octubre de 1994 el MEM le asignó las áreas restantes de la concesión a COFEMINAS. En 1993 AMSA se asoció con COFEMINAS y convino en financiar el estudio completo de factibilidad de Loma de Hierro. COFEMINAS contrató a Tecnoconsult, una importante compañía venezolana de ingeniería, procura y gerencia de construcción para asesorar al personal de AMSA con la ingeniería y gerencia del estudio.

Con la incorporación de COFEMINAS, CA al grupo Anglo American, para el año 1996, cambia de razón social y pasa a llamarse Minera Loma de Níquel, C.A., empresa operativa responsable de desarrollar el proyecto. En este mismo año se inicia el desarrollo del proyecto y la producción comenzó por etapas, los equipos de extracción arribaron en 1999-2000 y la primera colada fue en el 2001. Minera Loma de Níquel C.A. es una empresa filial del grupo Anglo América plc, que se constituyó en Venezuela con el propósito de la explotación del níquel un mineral con las propiedades necesarias para usarse como materia prima en la fabricación de aceros especiales.

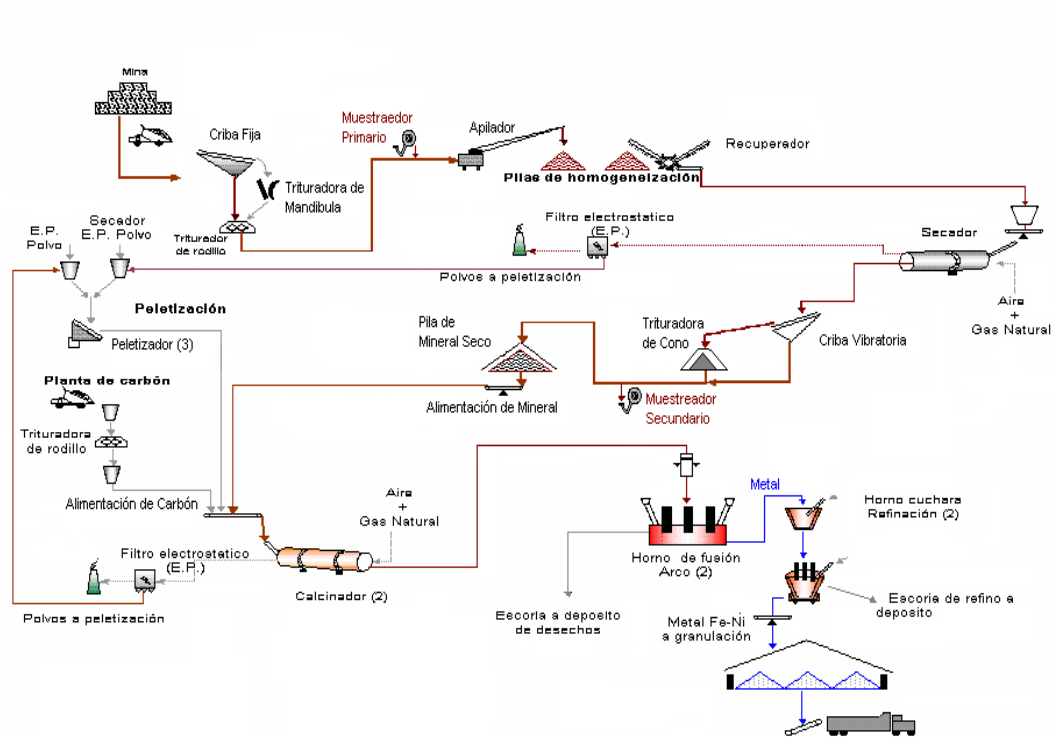
A los 10 días del mes de noviembre del año 2012, la empresa Minera Loma de Níquel C.A. paso a estar bajo la tutela del estado con el nombre de Loma de Níquel por medio de la filial PDVSA Industrial S.A. debido al vencimiento de las concesiones y negativa de la renovación por parte del Ministerio de Energía y Minas.

### **Descripción del Proceso Productivo de la Planta Loma de Níquel**

El FeNi (Ferro-níquel) es un metal ferro magnético de aleación siderúrgica con un aproximado de 20 % de Níquel, de alta dureza, y de color blanco brillante, que fácilmente es transformado en una variedad de productos. Su uso más frecuente es como un componente de varias aleaciones, de las cuales los aceros inoxidables son los más comunes. La producción de este metal puede llevarse a cabo de dos formas, por la vía pirometalúrgica y la química.

## ANEXO E

Loma de Níquel tiene un proceso productivo que se divide en 5 etapas principalmente:



**Diagrama de Proceso de la Planta Loma de Níquel**

### ***Extracción de Mineral***

Se extrae el mineral del yacimiento de una mina a cielo abierto, ubicada a 4,5 km de la primera fase del proceso. Mediante el uso de palas excavadoras el mineral es extraído y cargado en camiones de 55 toneladas de capacidad, para ser trasladado a la planta en la fase de preparación de mineral.



**Cargadores y Payloader Komatsu**

### ***Preparación de Mineral***

Es la primera fase de preparación o reducción de tamaño. En esta fase se descargan los camiones para tres etapas de trituración en un circuito abierto. El mineral pasa a una trituradora de mandíbula para luego entrar en una criba fija que está regulada a 250 mm, el material que no pasa por la criba es llevada directamente a una trituradora de rodillos de bala para llevarlo a la granulometría exigida por la trituración primaria. Seguidamente, el material es llevado por cintas transportadoras a la trituradora secundaria, que viene siendo otra de rodillos pero de segmentos, regulada para disminuir la granulometría del mineral a 60 mm. Después es llevado el mineral reducido por medio de una cinta transportadora al apilador, que va apilando de forma homogénea el mineral y es unida con carbón de baja calidad para mejorar la combustión del horno secador.

El mineral que ya ha sido apilado, es extraído por un equipo llamado recuperador, que por medio de un sistema de cangilones traslada el mineral a otra cinta transportadora, que lleva dicho mineral a un silo que sirve de alimentador al horno secador, quien elimina la húmeda (Humedad de Salida 21%), llevándolo a una temperatura alrededor de los 150 °C. Y por último el mineral seco es pasado por una criba vibratoria regulada a 15 mm de granulometría, donde el material que no pase por dicha criba es llevado por una cinta transportadora a la trituradora terciaria (Trituradora de Cono METSO) y luego todo el mineral es llevado a pila seca llamado también "Gorro Chino" donde es almacenado en una pila cubierta de 12.000 toneladas métricas.



**PPM Trituración Primaria y Secundaria**



### ***Calcinación del Mineral***

El mineral proveniente de pila seca, pasa por un proceso de reducción parcial del hierro presente y la eliminación del agua física y química, utilizando carbón de alta calidad para la combustión del calcinador, un agente reductor. Esto se realiza en dos hornos rotatorios que miden 5 metros de diámetro 120 metros de longitud, uno por cada línea de producción. Estos hornos calcinadores alcanzan una temperatura de 800 °C para realizar el proceso de pre - reducción del mineral.

El polvo generado aguas abajo del proceso, es recolectado por los electro filtros y son llevados por medio de la estación de bombeo de polvo, a la planta de peletización donde el polvo es aglomerado con agua sin aditivos químicos para luego ser nuevamente incluidos en el proceso en forma de pellas en la alimentación de los calcinadores.



**Calcinador L2**

### ***Reducción - Fusión***

Donde mineral pre-reducido y calcinado es introducido en dos hornos de arco eléctrico sumergidos, de 17,5 metros de diámetro y 45 MW, donde la generación de un arco eléctrico sobre la carga de mineral genera el calor para su fusión a aproximadamente 1650 °C. Dentro del horno se crean tres defase de material, una de escoria que posee menor densidad y debajo de ella, la fase metálica que posee una importante cantidad de Fe y Ni por ultimo otra fase compuesta de un material que no está ni solido ni líquido llamado

## ANEXO E

build up, el cual es de contextura pastosa y por mayor densidad se sedimenta en el fondo del horno.

La escoria representa el 70% de la carga y es granulada con agua, durante su colada. La fase metálica es colada cada cuatro horas en cucharas para luego pasar a la fase de refinación.



**Horno de Reducción L2**

### ***Refinación***

Donde el metal es colado, del horno de reducción, sobre una cuchara precalentada, iniciándose la inyección de oxígeno y cal en forma controlada para la primera fase de remoción del contenido de fósforo y carbono disueltos en el metal líquido. El fósforo eliminado pasa a ser parte de la escoria, el carbono se elimina en forma de dióxido de carbono.

Posteriormente la cuchara es integrada a un sistema de electrodos, en donde es desoxidado el metal, con la adición de aluminio a una temperatura de 1600 °C. Con la inyección de una mezcla de ferrosilicio, cal y nitrógeno, se elimina el contenido de azufre, el cual pasara a la escoria. La escoria es retirada de la superficie del metal refinado antes de la colada final. La ferro-aleación obtenida (FeNi) es granulada en un tanque especial (tanque de granulación), secada, clasificada por tamaño y almacenada para la venta de sus clientes.



**Horno de Refinación**

### **Descripción del Proceso de Reducción-Fusión**

El propósito del área de reducción, es transformar el mineral pre-reducido y calcinado en dos fases: una denominada escoria (conformada principalmente por óxidos) y otra metálica con proporciones importantes de Ni y Fe. Para ello, el mineral es transportado a través de un sistema de alimentación a los hornos eléctricos, donde pasa del estado sólido a líquido, al estar sometido al calor generado por un arco eléctrico. La separación del metal y la escoria se logra por diferencia de densidad ya que la escoria es menos densa y el grado de reducción de Fe y Ni, al igual que las pérdidas de Ni en la escoria son controladas a través de la dosificación de carbón. Sin embargo en la solera del horno suele formarse una fase del mineral que no se encuentra líquido ni solidificado, que por tener una mayor densidad se sedimenta en el fondo y es llamado build up. Estas fases líquidas son extraídas por medio de las piqueras ubicadas a distintos niveles. La escoria se granula con una corriente de agua y el metal es vaciado en cucharas para pasar a la próxima fase del proceso.

El proceso de reducción se realiza en dos hornos de arco eléctrico sumergido de 45 MW suministrados por DEMAG, uno por cada línea. El calor necesario para la fusión es obtenido al pasar una corriente eléctrica por tres electrodos, por el material fundido y la carga sólida. En algunos casos se establece un arco eléctrico entre el extremo del electrodo y el baño, operación denominada "arco abierto".

El horno consiste en una carcasa de acero de 25 mm de espesor y un diámetro de 17,5 m sin incluir el refractario, y una altura de 6 m. Esta carcasa es refrigerada por un sistema de rociadores que proyectan una película de agua en la misma, proveniente del circuito abierto de recirculación. Internamente está protegida por ladrillos refractarios

## ANEXO E

magnesianos en el fondo o solera del horno, hasta una altura de 4,2 m, donde se encuentra el máximo nivel de escoria y a partir de allí es protegida con ladrillos silicoaluminosos.

En extremos opuestos del horno, existen orificios diseñados para el vaciado de la escoria y el metal, llamados piqueras de escoria y metal respectivamente. La escoria y el metal son colocados separadamente, el metal a una temperatura de 1550 °C, mientras que la escoria se estima a una temperatura de 1650 °C.

El ferro níquel se produce en la interface escoria-carga y su calidad está influenciada por un proceso cinético. Durante este proceso se obtiene básicamente tres productos: El ferro-níquel con una proporción Fe:Ni 4:1, la escoria el cual es un aproximado del 80% del mineral cargado y los gases de las reacciones. Se estima que la recuperación de níquel en el proceso sea de 94% y la reducción de Fe es determinada con la cantidad de C residual en el calcinado. Parte del Fe va a la escoria. La reducción de Fe, es un factor importante en el control de la operación, toda vez que su proporción en la escoria determina su punto de fusión, conductividad eléctrica y el potencial de oxígeno.

El control del proceso viene dado principalmente por la carga de carbón y el carbono fijo residual en el calcinado alimentado, la reducción selectiva de Ni y Fe, requiere solo de una reducción parcial de este último, para obtener una ferro-aleación de contenido de Ni entre 20% a 24%. La influencia del carbón se describe a continuación:

- Aumento de C: mejora la recuperación de Ni menor de Ni en la escoria, disminución de Ni en metal y aumenta su fluidez.
- Disminución de C: baja la recuperación, aumenta tenor de Ni en la escoria y en el metal y disminuye la fluidez.

El carbón añadido en la alimentación de los calcinadores, en la condición de este horno, favorece la prerreducción de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{FeO}$ , y se estima ésta en un 80%. Parte del Ni en forma de Oxido también se convertirá en Ni metálico. Existe un sistema de carbón de corrección para el ajuste final del C residual (Cf del calcinado) en el orden de 1.2%

Los gases generados por las reacciones químicas son tratados en un sistema de desempolvado luego de ser enfriado a 1000°C

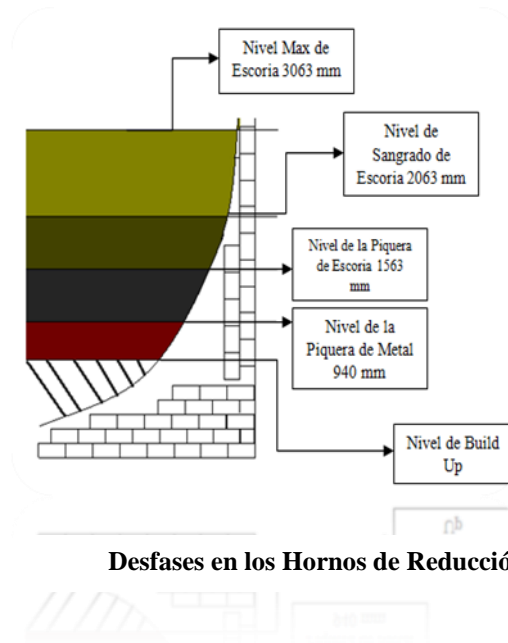
### ***Carga del Horno Eléctrico***

El mineral calcinado caliente (entre 950°C a 1000°C) con contenido de carbono residual del 1.2% se vacía a través de un tubo de descarga llamado "brazo de descarga" que llena dos recipientes cubiertos de refractarios por cada línea de producción. Estos contenedores son elevados mediante un sistema de grúas monorraíl de 35 toneladas de capacidad, hasta el nivel de carga. Los contenedores del monorraíl descargan en 6 silos alimentadores por cada horno. Cada silo tiene una capacidad de 25 m<sup>3</sup> y a su vez están termoeléctricamente aislados de la amplia inducción que genera el horno, además de alarmas de nivel mínimo que garantizan la carga en las tolvas, evitando el escape de los gases internos del horno. Cada tolva de carga se apoya en tres puntos, uno de los cuales posee una celda de carga para controlar el nivel.

Tres tubos de alimentación llamados "bines de carga" desde el fondo de cada tolva de carga, dirigen la carga a 18 puertas en la tapa del horno. Cada alimentador cuenta con una válvula térmicamente aislada que opera hidráulicamente para el control de la alimentación llamado "Pistón Gate" y una compuerta tipo aguja para el mantenimiento.

### ***Descripción del Mineral dentro de los Hornos Eléctricos de Reducción***

Dentro de ellos existen 4 tipos de carga en operatividad normal, una primera capa de calcinado o material de alimentación, una segunda capa de escoria que se desprende del metal al momento de su fundición y que sube por decantación, una tercera capa de metal fundido que se extrae para la producción del FeNi (Ferro-Níquel) y la última llamada build-up que está compuesta de metal que no se encuentra en estado líquido ni sólido, debido a que el fondo del horno tiende a tener una temperatura menor, por lo tanto este material por tener una mayor densidad se asienta en el fondo del horno. Mientras este último nivel tenga mayor altura, existe una mayor probabilidad de falla en el arco eléctrico y si esta capa sobrepasa el metro de altura puede ocasionar daños graves en las paredes internas de refractario.



### ***Sistema de Protección Refractaria del Horno Eléctrico***

#### **Solera del Horno Eléctrico**

La superficie del fondo del horno o solera, así como la segunda capa refractaria, son de ladrillos magnesianos. Estos ladrillos tienen una alta conductividad térmica que garantiza, que el metal que se introduzca en cualquier abertura de la pared, se solidifique con la capa superior. Por debajo de este arco refractario, se instalaron ladrillos sílice-aluminosos, para retener el calor dentro del sistema.

Cualquier expansión en los refractarios del fondo, serán absorbidos por:

- Juntas de expansión construidos durante la instalación de los ladrillo.
- Una capa de compuesto de grafito comprimido.

#### **Paredes del Horno Eléctrico**

Debido a su alta conductividad térmica, se seleccionaron ladrillos de MgO. El espacio entre la placa de acero y los refractarios de la pared, se relleno con una pasta de compuesto de grafito, esto con el fin de mantener el contacto térmico entre estas zonas.

Este compuesto tiene propiedades similares a las de la pasta electrodica, se mantiene en una forma plástica a los 80 °C y se derrite a los 300 °C.

## *ANEXO E*

El sistema de rociadores de la carcasa, dispersa el calor conducido a través de los ladrillos magnesianos y la capa de pasta. El agua de los rociadores proviene del circuito abierto de recirculación, donde dicha agua es enfriada por medio de unos aspersores y retomada de la presa. Es clave que la pasta mantenga su propiedad de plasticidad para absorber la expansión-contracción de los ladrillos refractarios durante su operación, ya que al aumentar la temperatura interna del horno ellos se dilatan térmicamente y expanden la carcasa. Actualmente en el horno eléctrico de línea 1 por estar más deteriorado, está instalado un sistema de monitoreo de expansión-contracción de la carcasa por medio de sensores ultrasónicos y así mantener controlado este variable operacional.

Desde una elevación de 4,2 m los ladrillos son sílice-aluminosos. Por estas razones, el diseño de los ladrillos refractarios de la pared es de máxima importancia para la operación de los hornos de reducción.

Luego de la reconstrucción del horno eléctrico de línea 2, el sistema de refractario tuvo un rediseño en donde se le fueron instalados un sistema de compresión manual por resorte, en donde se les hace presión, comprimiendo los resortes por medio de un procedimiento llamado "Hold Down", con el fin de mantener los ladrillos de la pared del horno unidos completamente, evitando la posible incrustación de material en las paredes de refractario.

### **Techo del Horno Eléctrico**

El techo o bóveda del horno fue diseñado por Claudius-Peter y consiste de un arreglo de ladrillos, fabricadas suspendidos de una estructura de vigas y rieles. Estos ladrillos son de mulita, que los hace menos sensibles a cambios de temperatura bajo la bóveda. El arreglo permite la expansión horizontal de los ladrillos de la bóveda y la vertical de los ladrillos de la pared.

### ***Sistemas de Electrodo Soederberg***

Para este proceso se utilizan los electrodos "auto-cocido" de tecnología Soederberg, usando pasta electródica como medio. Por Auto-Cocido se entiende que el electrodo toma su forma, resistencia y conductividad durante la operación del horno. El horneado se hace por la resistencia eléctrica al paso de la corriente, la conducción térmica desde la punta del

electrodo y la radiación desde la superficie de la escoria. El electrodo se conforma de la carcasa metálica llamada anillo o virola y se sostiene de ella a través de unos orificios en sus aletas internas.

El electrodo conformado por la pasta electrodica y el anillo o carcasa se cuece completamente a los 600-800 °C. A esta temperatura el electrodo tiene su máxima resistencia y conductividad eléctrica necesaria. Es esencial que este electrodo totalmente cocido se encuentre por encima de la zona de contacto eléctrico de las juntas. Debe monitorearse la altura de la pasta dentro del electrodo para cumplir con esta disposición, la longitud del electrodo tiene una gran influencia en el cocimiento efectivo del mismo. Se estima que una elevación de 300-400 mm de los cilindros de regulación, es suficiente para compensar las diferencias del nivel del baño entre coladas de escoria y metal. La radiación proveniente del baño, se controla colando el material calcinado en el mismo para controlar la temperatura del techo entre 1000-1200 °C.

Las propiedades de la pasta electrodica "verde" es su temperatura de ablandamiento y solidificación. Entre 80 y 100 °C, la pasta se suaviza y llena las cavidades que pueden existir dentro de la carcasa. Para favorecer este proceso, se utilizan trozos de pasta en forma de pequeñas briquetas.

### ***Sistema de Regulación de Electroodos***

Cada electrodo posee un sistema de cilindros hidráulicos de doble efecto, que tiene un funcionamiento de tipo abrazadera, que permiten regular su elevación con respecto a un punto de referencia y así controlar la corriente e impedancia a cada condición operativa del horno. Para disminuir la corriente y aumentar la impedancia, el electrodo se eleva y para aumentar la corriente, se hace lo contrario. Esta operación puede realizarse de modo manual o automático. Este sistema está regulado y la longitud de elevación y bajada de cada acción es de 25 mm y se le denomina deslizamiento. En condiciones operacionales normales, se requiere un deslizamiento por hora, pero esto se ve afectado por las diferentes variables operacionales como la carga efectiva dentro del horno, contenido de carbono en el material de alimentación, entre otros.





**Sistema de Desplazamiento de los Electrodo Soelderberg**

### ***Termocuplas***

Se instalaron en 3 niveles a lo largo de la circunferencia de la carcasa, 18 termocuplas. La punta de las termocuplas, toca la superficie externa de los ladrillos magnesianos. En el fondo del horno 3 termocuplas están alineadas a la parte inferior de los electrodos.

La bóveda del horno cuenta con 7 termocuplas. Estas temperaturas son de mucha importancia para controlar la operación del horno eléctrico, ya que pueden mostrar el desenvolvimiento de un problema dentro del horno, como poca penetración de los electrodos en el baño. Baja resistencia eléctrica o impedancia en el baño.

Cuando hay Electrodo roto, se formaría un arco eléctrico entre el resto del electrodo y la parte rota, aumentando rápidamente la temperatura de la bóveda.



Termocupla

**Termocupla del Horno de Reducción L1**

### ***Colada de Metal y Escoria***

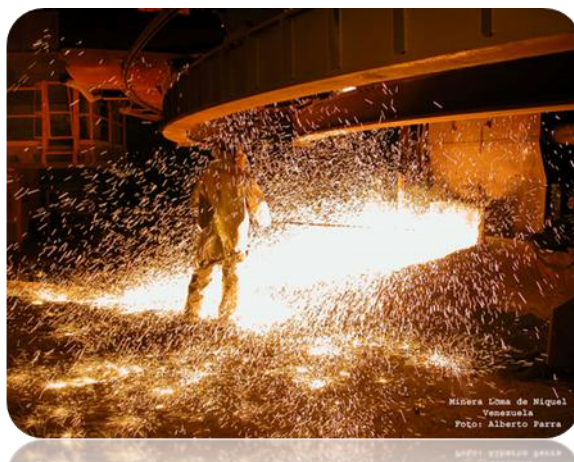
Cada horno cuenta con dos orificios para la colada de metal, llamados piqueras de metal y de canales metálicos hechos de secciones de vigas de acero dulce que actúan como revestimiento refractario. Los orificios de colada se utilizan de manera alterna y están ubicados en una posición que coinciden con las cucharas de refinación de 40 toneladas de capacidad.

La colada se realiza a intervalos nominales de 4 horas para cada horno. El volumen usual de las coladas es de 30-32 toneladas, que eventualmente se complementan con chatarra del área de refinación. Las cucharas son de acero dulce, revestidas con material refractario.

Un inyector o cañón de pasta de clausura y un taladro perforador de orificios con sistema neumático, suministrados por DANGO, están montados sobre un riel y actúan sobre las dos piqueras de metal. Es operado por un sistema hidráulico semejante a un joystick.

Cada horno está provisto de otro taladro neumático, el cual es utilizado para las operaciones de aperturas de las piqueras de escoria a cada dos horas, este es parecido al taladro de las piqueras de metal. La escoria pasa a un canal de escoria de acero dulce enfriados por agua. Los canales de escoria normalmente descargan dentro del sistema de granulación de escoria con agua a presión, donde esta escoria es dispersada y solidificada en finas partículas y depositadas temporalmente en una piscina de contención. De estas piscinas, una por cada horno, se transporta por medio de cargadores frontales, a un sistema de bandas transportadoras hasta un silo, donde será colocado en un depósito final.

El agua drenada de esta operación de granulación, es transferida por vía de canales de gravedad a una piscina de decantación intermedia que rebosa finalmente a una presa de enfriamiento antes de su reutilización en el proceso.



**Colada de Metal en el Horno de Reducción L2**

### ***Manejo de Gases y Polvo***

Los gases generados en el proceso, terminan de quemarse en las vecindades de los electrodos. Para garantizar el ingreso óptimo de aire al horno, se instaló un sistema de control de presión. Adicionalmente de enfriamiento de aire-aire y desempolvado de los gases generados en los hornos eléctricos.

### ***Procedimiento de Sondeo en los Hornos de Eléctricos de Reducción***

Este procedimiento se comenzó a implementar en las empresas pertenecientes al consorcio de Anglo América, específicamente en una planta de producción de níquel que se encuentra en Sudáfrica, con la finalidad de mejorar el control de sus procesos e innovar tecnológicamente en la industria minera del mundo, mas sin embargo, algunas plantas comenzaron a usar instrumentos para la medición de tipo sonar, pero son muy costoso y no garantiza una vida útil rentable por las condiciones en donde se encontrara instalado.

Los hornos eléctricos de reducción de la planta Loma de Níquel, tienen una serie de variables operacionales que deben ser controladas por el Departamento de Procesos para su operación óptima y para controlar dichas variables operacionales, la prioridad es obtener la mayor cantidad de información del proceso.

## *ANEXO E*

Este procedimiento de sondeo aporta la información más precisa de: Cuáles son los niveles de cargas máximo dentro de los hornos eléctricos de reducción, a su vez permite controlar como mecanismo auxiliar las temperaturas internas del mismo, ya que esta información esta interrelacionada con los niveles de carga. Mientras más carga contenga el horno, la temperatura interior la cual afecta la cubierta de refractario como también la dilatación y contracción de la carcasa del horno, disminuirá. Además de esto permite aumentar la capacidad de fusión, reteniendo la cantidad optima de energía dentro del horno y realizar una planificación de tiempos de coladas más eficiente por parte del departamento de operaciones, ya que se puede determinar el sangrado de escoria y metal basado en un criterio experimental, siendo más preciso al darle prioridad al momento de la colada al horno que este en mejores condiciones de material. También se obtiene por medio de los sodeos, el nivel del build-up, metal que se asienta en el fondo del horno debido a que la temperatura interna en ese punto tiende a ser menor en operatividad normal y el metal no se encuentra en un estado definido, ni líquido, ni solido. El nivel de este metal, tiene que ser controlado ya que puede ocasionar daños en las paredes refractarias además de ser un indicio de problemas en el arco eléctrico de los electrodos. Y por último se realizan análisis químicos del material que queda enconchado en la barra luego de sacarla del horno y que se solidifique.

Actualmente en la planta Loma de Níquel, este procedimiento de sondeo o monitoreo de niveles de carga, son realizados por dos operadores que introducen una barra de acero al carbono de 1/2" y 6 metros de largo dentro de dicho horno, hasta que esta tiene contacto con la capa de build-up a una distancia de 4 metros de profundidad generalmente. Luego la extraen y debido a la alta temperatura a la que se encuentra el mineral, la barra al momento de salir de la bóveda del horno se encuentra totalmente deformada lo que complica el procedimiento y pone en alto riesgo de incidente a los operadores responsable de la actividad ya que se vuelve difícil de trasladar y peligroso por la temperatura que ha absorbido la barra mientras estaba en contacto con el metal fundido. Luego se endereza con una serie golpes para poder medir la zona que estuvo sumergida.



**Sondeos en los Hornos de Reducción de Loma de Níquel**