INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

Rediseño de una estructura metálica hiperestática para el proceso de pintura del automóvil Golf en la nave 59

TESIS

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO ELECTROMECÁNICO

PRESENTA:

C. JESÚS TEPATLÁN RAMOS

DIRECTORA DE TRABAJO RECEPCIONAL

ING. MIGUEL ÁNGEL RAMÍREZ REBOLLEDO

HUATUSCO, VER**.** **DICIEMBRE 2020.**

AGRADECIMIENTOS

A DIOS.

Por haberme permitido llegar esta esté punto de mi vida y darme las fuerzas para seguir adelante, demostrando que con esfuerzo cualquier reto es posible.

A MIS PADRES.

Por haberme permitido el poder seguir adelante con mis estudios, sobre todo a mi madre por poner el carácter firme, soportar los golpes de la vida por mí, el haberme de mostrado que con ganas todo es posible. A mi padre que, aunque no estuvo conmigo, pero pudo apoyarme en cada momento de mi carrera profesional.

A MIS PROFESORAS DE PREPARATORIA.

Por haberme guiado por el camino del descubrimiento, haberme apoyado en cada instante, brindarme el conocimiento necesario para afrontar la vida y sobre todo el estar cada día en el aula compartiendo su conocimiento.

A ING. REBOLLEDO.

Por haber sido un excelente docente durante mi estadía en la universidad, haberme guiado por el camino correcto, dedicar sus horas a todos sus alumnos con gran apecho y sobre todo por estar allí cada día en el aula de clases a pesar de la enfermedad. Demostrando que con dedicación todo es posible.

Resumen

En este proyecto hablaremos sobre estructuras metálicas, los diferentes tipos que existen, métodos de análisis, métodos de unión, etc. De la cual haremos uso de la aplicación de dicha teoría para el rediseño o ingeniera inversa, de una estructura hiperestática que será controlada bajo un accionamiento automático, para ser utilizada en el área de automatización y control, dentro del proceso de pintura del automóvil Golf de la empresa Volkswagen en la nave 59.

Introducción.

USAI Servicios industriales S.A de C.V. Es una empresa en el sector privado ofreciendo diversos servicios a empresas como Volkswagen, Schneider Electric y Ternium. Dichas empresas le solicitan estructuras metálicas para diversos fines.

Para la elaboración de estructuras se requiere tener conocimiento de la estática, manejo de software para la facilitación de trabajo, además de tener un gran conocimiento sobre la teoría, las clasificaciones, análisis de fuerzas, métodos de análisis, métodos de fallas, etc. Es fundamental el conocer cada uno de ellos, para una selección, desarrollo e implementación completa de una estructura metálica.

Para poder construir una estructura metálica se deben considerar ciertos parámetros como los ambientales, técnicos, ambiente de trabajo, etc. Para que la estructura metálica pueda ser eficiente, resistente y duradera, deben de soportar su propio peso, así como las fuerzas externas, para ello se deberán distribuir uniformemente las fuerzas internas, empleando uniones o apoyos unidos entre sí.

Para que las uniones estén correctamente soldadas se requiere conocer sobre los tipos de electrodos, los materiales a utilizar, metales de unión, etc. Una vez contemplados todos estos parámetros se procederá a diseñar y posteriormente un análisis por computadora de acuerdo a los parámetros requeridos y las condiciones de trabajo a la cual será sometida, obteniendo como resultado la certidumbre que la estructura cumplirá todos los parámetros de calidad, seguridad y requerimientos.

Índice general

Justificación. 18

Objetivo general 19

Objetivos específicos 20

Hipótesis o supuestos. 21

Alcance y limitaciones. 22

Capitulo I. Marco teórico de estructuras metálicas. 23

1.1 ¿Qué es una estructura? 23

1.1.1 Ventajas de las estructuras metálicas. 23

1.1.2 Armaduras. 24

1.2 Clasificación de las estructuras y armaduras. 25

1.2.1 Clasificación de estructuras de acuerdo a USAI Servicios Industriales. 25

1.2.2 Clasificación de estructuras de acuerdo con las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de acero.. 27

1.2.3 Clasificación de las armaduras. 28

1.3 Partes de una estructura. 28

1.4 Estructuras hipostáticas, hiperestáticas e isostáticas. 29

1.4.1 Grado de indeterminación estática (GIE). 30

1.4.2 Estructura hiperestática o estáticamente indeterminadas. 33

1.4.2.1 Ventajas de las estructuras hiperestáticas. 34

1.4.2.2 Desventajas de las estructuras hiperestáticas. 35

1.4.3 La estructura isostáticas o estáticamente determinadas. 36

1.4.4 Las estructuras hipostáticas. 36

1.5. Cargas estructurales. 37

1.5.1 Consideraciones generales en el diseño de las EM. 38

1.5.2 Tipos de cargas estructurales. 38

1.5.2.1 Clasificación de cargas de cuerdo a su carácter y a su duración. 39

1.5.2.2 Clasificación de cargas en función de su área de actuación y en función de su permanencia en el tiempo. 41

1.6 Tipos de fuerzas. 43

1.6.1 Sistemas de fuerzas. 44

1.6.2 Unidades de fuerza. 44

1.7 Esfuerzos estructurales. 46

1.7.1 Unidades de esfuerzo. 47

1.7.2 Clasificación de esfuerzos. 47

1.7.3 Tipos de los esfuerzos. 49

1.7.3.1 Esfuerzo de tracción. 49

1.7.3.2 Esfuerzo de compresión. 49

1.7.3.3 Esfuerzo de Cizalladura o corte. 50

1.7.3.4 Esfuerzo de flexión. 50

1.7.3.5 Esfuerzo de pandeo. 50

1.7.3.6 Esfuerzo de torsión. 51

1.7.3.7 Esfuerzo de Fatiga. 51

1.8 Momento. 51

1.9 Apoyos y enlaces entre elementos estructurales. 52

1.10 Condición de equilibrio de un sólido rígido. 54

1.11 Análisis estructurales. 55

1.11.1 Principio fundamental aplicado al análisis estructural. 56

1.11.2 Métodos para resolver vigas hiperestáticas. 56

1.11.2.1. Método de superposición. 57

1.11.2.2. Método de tres momentos. 60

1.11.2.3. Método de doble integración. 62

1.11.2.4. Método de Cross. 64

Capitulo II: Diseño de estructuras metálicas. 66

2.1 Medios de unión de estructuras metálicas. 66

2.1.1 Remachadas o Roblonado. 67

2.1.2 Atornillado. 68

2.1.3 Soldadura. 70

2.1.3.1 Proceso de soldadura. 71

2.1.3.2. Soldadura manual con electrodo recubierto (SMAW). 72

2.1.3.3 Tipos de soldadura. 73

2.1.3.4 Tipos de uniones y cordones. 75

2.1.3.5 Tipos de electrodos. 76

2.1.3.6 Selección correcta de electrodos para soldadura por arco electrico. 77

2.1.3.6.1 Nomenclatura de un electrodo de acuerdo A.W.S. y A.S.M.E. 78

2.1.3.7 Sistemas de inspección de soldadura. 80

2.1.3.8 Herramienta necesarias para la aplicación de soldadura por arco. 81

2.1.3.9 Equipo de protección en soldadura por arco eléctrico. 82

2.2 Selección de materiales estructurales. 83

2.2.1 Propiedades fundamentales del acero estructural. 84

2.2.1.1 Propiedades mecánicas. 84

2.2.1.2 Propiedades químicas. 86

2.2.1.3 Clasificación de los aceros estructurales. 88

2.2.1.4 Soldabilidad del acero. 89

2.2.1.5. Propiedades del acero ASTM A 36. 90

2.2.1.5.1 Propiedades mecánicas 91

2.2.1.5.2 Propiedades químicas. 91

2.2.1.5.3 Propiedades físicas. 92

2.2.1.5.4 Soldabilidad. 92

2.2.2. Grado y tipo de acero estructurales. 93

2.2.2.1 Grados de acero para perfiles y placas. 93

2.2.2.2 Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos. 95

2.3 Diseño de piezas. 97

2.3.1 Despiece de partes. 98

2.3.2 Planos de piezas. 100

2.3.3 Modelado y ensamble de piezas en Solidworks. 112

2.3.3.1 Modelado de piezas en Solidworks 112

2.3.3.2 Ensamblé del gancho en Solidworks. 116

Capitulo III: Análisis asistido por computadora de estructuras 117

3.1 Software para el análisis estructural. 117

3.1.1 Solidworks como software para diseño. 121

3.2 Simulación de piezas en Solidworks 121

3.2.1 Simulación del brazo conjunto. 123

3.2.2 Simulación de la pija conjunto. 129

3.2.3 Simulación del conjunto de la base. 134

3.3 Interpretación del análisis de resultados. 136

Capítulo IV: Implementación de resultados. 139

4.1 Procedimiento de ensamblaje del gancho. 139

4.1.1 Elaboración de las piezas. 139

4.1.1.1 Materiales empleados. 139

4.1.1.2 Normativa empleada. 146

4.1.1.2.1 Normas ASTM. 146

4.1.1.2.2 Normas DIN. 146

4.1.1.2.3 Normas ISO. 146

4.1.1.2.4 Equivalencias entre normas DIN e ISO. 147

4.1.1.3 Solera. 148

4.1.1.4 Brazo del gancho. 150

4.1.1.5 Pija con su soporte a la base del gancho. 153

4.1.1.6 Soporte del brazo para el cuerpo del gancho. 154

4.1.1.7 Soporte para las soleras. 157

4.1.1.8 Tope del brazo y soporte del mismo. 159

4.1.1.9 Soporte del cuerpo del gancho. 159

4.1.1.10 Base del cuerpo del gancho. 159

4.1.2 Proceso de unión de las piezas. 160

4.1.3 Proceso de limpieza e inspección. 168

4.1.4 Problemas más comunes durante el ensamblaje del gancho. 170

4.1.5 Método de prueba del gancho. 173

4.1.6 Resultado final. 174

4.2 Conclusiones..... 175

Bibliografía. 177

Anexo 1. 180

Anexo 2. 182

Anexo 2.1 Diagramas sobre los tipos de soldadura y uniones más comunes. 182

Anexo 2.2 Problemas y defectos más comunes en la soldadura por arco. Cortesía de INDURA..... 183

Anexo 2.3 Ejemplo sobre la identificación de un electrodo. 187

Anexo 2.4 Ficha técnica del electrodo E6013. 188

Anexo 3. 189

Anexo 3.1 Programas para el diseño de estructuras. 189

Glosario de términos. 193

Índice de figuras

Figura 1.1 23

Figura 1.2.3.1 28

Figura 1.2.3.2 28

Figura 1.3.1 29

Figura 1.4.1.1 32

Figura 1.4.2.1 33

Figura 1.4.2.1.1 34

Figura 1.4.3.1 36

Figura 1.4.4.1 36

Figura 1.5.2.1.1 40

Figura 1.5.2.2.1 41

Figura 1.5.2.2.2 41

Figura 1.5.2.2.3 42

Figura 1.6.1 43

Figura 1.7.1 46

Figura 1.7.2.1 47

Figura 1.7.2.2 48

Figura 1.7.3.1 49

Figura 1.8.1 51

Figura 1.9.1 52

Figura 1.9.2 53

Figura 1.9.3 53

Figura 1.11.1 55

Figura 1.11.2.1.1 59

Figura 1.11.2.2.1 61

Figura 1.11.2.2.2 61

Figura 1.11.2.2.3 61

Figura 1.11.2.2.4 61

Figura 1.11.2.3.1 63

Figura 1.11.2.4.1 65

Figura 1.11.2.4.2 65

Figura 1.11.2.4.3 65

Figura 2.1.1.1 67

Figura 2.1.1.2 67

Figura 2.1.1.3 68

Figura 2.1.2.1 69

Figura 2.1.2.2 69

Figura 2.1.2.3 69

Figura 2.1.3.2.1 72

Figura 2.1.3.3.1 73

Figura 2.1.3.3.3 74

Figura 2.1.3.3.2 74

Figura 2.1.3.3.4 74

Figura 2.1.3.4.1 75

Figura 2.1.3.4.2 75

Figura 2.1.3.6.1 77

Figura 2.1.3.6.1.1 78

Figura 2.1.3.6.1.2 79

Figura 2.1.3.6.1.3 79

Figura 2.1.3.8.1 82

Figura 2.2.1.1 84

Figura 2.2.1.1.1 85

Figura 2.2.1.1.2 85

Figura 2.2.1.1.3 86

Figura 2.2.2.1.1 93

Figura 2.2.2.2.1 95

Figura 2.3.1.1 99

Figura 2.3.1.2 99

Figura 2.3.2.1 101

Figura 2.3.2.2 102

Figura 2.3.2.3 103

Figura 2.3.2.4 104

Figura 2.3.2.5 105

Figura 2.3.2.6 106

Figura 2.3.2.7 107

Figura 2.3.2.8 108

Figura 2.3.2.9 109

Figura 2.3.2.10 110

Figura 2.3.2.11 111

Figura 2.3.3.1.1 112

Figura 2.3.3.1.2 112

Figura 2.3.3.1.3 113

Figura 2.3.3.1.4 113

Figura 2.3.3.1.5 114

Figura 2.3.3.1.6 114

Figura 2.3.3.1.7 115

Figura 2.3.3.1.8 115

Figura 2.3.3.2.1 116

Figura 3.2.1 122

Figura 3.2.1.1 123

Figura 3.2.1.2 124

Figura 3.2.1.3 124

Figura 3.2.1.4 125

Figura 3.2.1.5 125

Figura 3.2.1.7 126

Figura 3.2.1.6 126

Figura 3.2.1.8 127

Figura 3.2.1.9 127

Figura 3.2.1.10 128

Figura 3.2.2.1 129

Figura 3.2.2.2 130

Figura 3.2.2.3 130

Figura 3.2.2.4 131

Figura 3.2.2.5 131

Figura 3.2.2.6 132

Figura 3.2.2.7 132

Figura 3.2.2.8 133

Figura 3.2.2.8 133

Figura 3.2.3.1 134

Figura 3.2.3.2 134

Figura 3.2.3.3 135

Figura 3.2.3.3 135

Figura 3.3.1 136

Figura 3.3.2 137

Figura 4.1.1.1.1 140

Figura 4.1.1.1.2 140

Figura 4.1.1.1.3 141

Figura 4.1.1.1.4 142

Figura 4.1.1.1.5 143

Figura 4.1.1.1.6 143

Figura 4.1.1.1.7 144

Figura 4.1.1.1.8 145

Figura 4.1.1.1.9 145

Figura 4.1.1.2.4.1 147

Figura 4.1.1.3.1 148

Figura 4.1.1.3.2 149

Figura 4.1.1.3.3 149

Figura 4.1.1.3.4 149

Figura 4.1.1.4.1 150

Figura 4.1.1.4.2 151

Figura 4.1.1.4.4 151

Figura 4.1.1.4.3 151

Figura 4.1.1.4.6 152

Figura 4.1.1.4.5 152

Figura 4.1.1.4.7 152

Figura 4.1.1.5.1 153

Figura 4.1.1.6.1 154

Figura 4.1.1.6.2 154

Figura 4.1.1.6.3 155

Figura 4.1.1.6.4 155

Figura: 4.1.1.6.5 156

Figura: 4.1.1.6.6 156

Figura 4.1.1.7.1 157

Figura 4.1.1.7.2 157

Figura 4.1.1.7.3 158

Figura 4.1.1.7.4 158

Figura 4.1.2.1 160

Figura 4.1.2.2 160

Figura 4.1.2.3 161

Figura 4.1.2.4 161

Figura 4.1.2.5 162

Figura 4.1.2.7 162

Figura 4.1.2.6 162

Figura 4.1.2.9 163

Figura 4.1.2.8 163

Figura 4.1.2.10 163

Figura 4.1.2.11 164

Figura 4.1.2.12 164

Figura 4.1.2.13 165

Figura 4.1.2.14 165

Figura 4.1.2.16 166

Figura 4.1.2.15 166

Figura 4.1.2.17 167

Figura 4.1.2.18 167

Figura 4.1.2.19 167

Figura 4.1.3.1 168

Figura 4.1.3.2 169

Figura 4.1.3.3 169

Figura 4.1.4.1 170

Figura 4.1.4.2 171

Figura 4.1.4.3 172

Figura 4.1.4.5 172

Figura 4.1.4.4 172

Figura 4.1.5.1 173

Figura 4.1.5.2 173

Figura 4.1.6.1 174

Justificación.

La empresa USAI Servicios industriales S.A de C.V. Ofrece servicios a diversas empresas como lo son Volkswagen, Schneider Electric y Ternium por mencionar algunas. Las cuales le solicitan proyectos u obras, en las que la mayoría de ellos se ve involucradas estructuras metálicas (EM) estáticas o móviles, de diferentes dimensiones para fines como, almacenamiento de materiales, soporte de maquinaria, traslado de contenedores, etc.

En USAI, el proceso de elaboración de una EM no se llevaba de manera técnica debido a que en etapas fundamentales como el diseño o calculo existen errores, los cuales se pueden reducir empleando software especializado para el diseño como lo es SolidWorks. Actualmente en USAI, no se cuenta con personal capacitado para manejar Software de diseño anteriormente mencionado, por ende, en el diseño varias veces resultan errores. En la mayoría de las ocasiones el trabajador se suele guiar por su experiencia, lo que es bastante bueno, pero en cosas más complejas referente al diseño se les dificulta un poco, al momento de realizar diseños más complejos, dando como resultado un mal manejo de material, recursos, herramientas, tiempo y capital.

La empresa Volkswagen (VW) solicita una EM para el proceso de pintura del automóvil GOLF en la nave 59, dicha EM es acerca de un **gancho** el cual es operado por un brazo robot automatizado, dicho gancho realiza un movimiento de rotación de 180° pasando del eje +X al eje +Y, regresando al eje -X y viceversa, tomando como eje de rotación al eje +Z, dicha pieza es exclusivamente de uso interno, por tal motivo se debe de traer desde Europa haciendo que los gastos de manufactura, de importación, traslado, etc. Sean muy elevados para las piezas por lo que VW, opto por una opción más viable la cual es poder manufacturar dicho gancho en el estado de Puebla, debido que es donde se encuentra ubicada VW. USAI siendo proveedor confiable de varios años de WV, fue elegida para llevar acabo dicho proyecto.

Objetivo general:

Implementación de ingeniería inversa para el **rediseño** de una estructura metálica hiperestática, utilizada en el área de automatización y control, dentro del proceso de pintura del automóvil GOLF en la nave 59, para la empresa Volkswagen, el cual será controlado por un brazo robótico automatizado.

Objetivos específicos:

1. Determinar los factores (carga, resistencia, longitud, tensión, dureza, etc.) necesarios que influyen en el cálculo de estructuras metálicas.
2. De acuerdo al punto anterior, determinar los factores más importantes a los que la estructura estará sometida.
3. Proponer planos (2D) sobre la estructura y modificarlos de acuerdo a las necesidades de punto 2 e inconvenientes presentadas en el punto 4 y 5.
4. Rediseñar dicha estructura hiperestática en el software Solidworks de acuerdos a los planos del punto 3.
5. Realizar simulaciones estáticas (software Solidworks) similares a su entorno de trabajo a las que serán sometidas, para poder detectar posibles fallas, roturas, agrietamientos, esfuerzos, tensiones, etc. de dicha estructura.
6. Adaptar (en caso de que se requiera) los planos del punto 3 y 4, tomando en cuenta los criterios obtenidos del punto 5.
7. Llevar a cabo el proceso de manufactura, tomando en cuenta los planos del punto 6.
8. Hacer entrega del gancho a Volkswagen.

Hipótesis o supuestos.

Para soportar cargas mínimas de 100 N de fuerza, se debe rediseñar un gancho hiperestático de acero ASTM A 36, el cual tiene un módulo de elasticidad de 29, 000 Ksi. Y aplicarlo dentro del área de automatización y control, dentro del proceso de pintura.

Alcance y limitaciones.

Los alcances nos indican con precisión qué se puede esperar o cuales aspectos alcanzaremos en la investigación. Las limitaciones indican qué aspectos quedan fuera de su cobertura, las “limitaciones” jamás se refieren a las dificultades de realización, sino a los “límites” o fronteras hasta donde llegan las aspiraciones de la investigación, siempre por referencia a los objetivos.

Alcance:

1. La presente investigación abarca únicamente a una estructura hiperestática de accionamiento automático, la que se requiere aplicar un rediseño y simulación previo a su elaboración.

Limitaciones:

1. La estructura hiperestática tiene un único movimiento de 180°.
2. La estructura hiperestática operara únicamente en tres dimensiones.
3. Es operada por un brazo robótico.

Capitulo I. Marco teórico de estructuras metálicas.

1.1 ¿Qué es una estructura?

En la actualidad, estamos constantemente rodeamos de diversas estructuras, de diferentes tipos y tamaños, las cuales forman parte de nuestra vida cotidiana, algunas hacen más fácil nuestro trabajo al soportar grandes cantidades de peso otras simplemente dan cuerpo a los grandes rascacielos o monumentos importantes como la estatua de la libertad en Nueva York o el Burj Khalifa ubicado en Dubái.

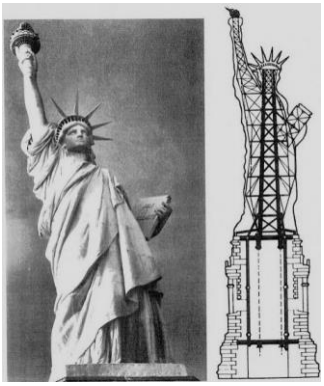


Figura 1.1: Estatua de la libertad ubicada en Nueva York, Estados Unidos alcanza los 93 metros de altura.

Esto nos da una idea acerca de lo importante que son las estructuras, diversos autores tienen diferentes conceptos acerca de lo que es una estructura, de acuerdo con Rodas, H. (2014) afirma que: *Una estructura es un conjunto de elementos que se interconectan para cumplir funciones tales como: puentes, contener sólidos o líquidos, soportar, muros de contención, etc. Las cualidades de una buena estructura deben ser: seguridad, economía, racionalidad y por qué no decirlo: belleza. (p.14)*

Así que partiendo de lo anterior podemos decir que una estructura metálica (EM) es: La combinación ordenada de partes unidas entre sí estáticamente para proporcionar cierta rigidez y soportar un conjunto de cargas.

1.1.1 Ventajas de las estructuras metálicas.

Naturalmente, las EM presentan ciertas ventajas frente a las estructuras de hormigón, las cuales vienen principalmente, en las diferencias entre los materiales. Las más importantes se relatan a continuación:

1. Realización del máximo trabajo en taller, ejecutando todas las soldaduras y dejando todos los elementos listos para el ensamblaje mediante uniones atornilladas en obra.
2. Garantiza un estricto control de calidad, reduciendo la posibilidad de fallo humano.
3. Permite la proyección de grandes proyectos, resultando más ligeros y esbeltos.
4. Gracias a la ligereza de la estructura y las diferencias de sección necesarias para la misma obra frente a otros materiales, el aprovechamiento del espacio es máximo.
5. Enorme adaptabilidad a cualquier solución deseada, ya sea por medio de entramados rígidos o articulados.
6. Gran facilidad en el ensamblaje de la obra durante su ejecución.
7. Precios muy competitivos frente a otros materiales, además de la rapidez de ejecución de la obra, que a su vez permitirá un ahorro en los costos de construcción.
8. El desarrollo de nuevos sistemas de protección contra la corrosión, garantizan con un mantenimiento mínimo, una vida casi ilimitada para las estructuras.

1.1.2 Armaduras.

La armadura es un medio para estabilizar un armazón o estructura de elementos lineales que se acomodan en una cierta forma, con sus extremos conectados por nudos o juntas articuladas, conformando una geometría tal que el sistema se comporta establemente cuando recibe cargas aplicadas directamente en estos nodos. Este tipo de sistemas tienen la característica de ser muy livianos y con una gran capacidad de soportar cargas. Se utilizan principalmente en construcciones con luces grandes, como techos de bodegas, almacenes, iglesias y en general edificaciones con grandes espacios en su interior.

En una armadura, se considera que todos los miembros están conectados por nodos en sus extremos, sometidos a solo una de dos posibles acciones internas de fuerzas, tensión o compresión axial. La triangulación interior es una necesidad básica para una armadura, además los apoyos externos que deben tener ciertas características. Deben existir suficientes componentes de reacción para la estabilidad de la armadura, pero debe permitir que se deforme libremente bajo las acciones de las cargas, recordando que el triángulo es la unidad básica de una armadura plana.

1.2 Clasificación de las estructuras y armaduras.

Toda construcción debe contar con una estructura que tenga características adecuadas para asegurar su estabilidad bajo cargas verticales, además que le proporcione resistencia y rigidez suficientes para resistir los efectos combinados de las cargas verticales o horizontales, que actúan en cualquier dirección. Cuando sean significativos, deberán tomarse en cuenta también los efectos producidos por otras acciones. Pueden utilizarse estructuras de algunos de los dos tipos básicos que se describen a continuación. En cada caso particular el análisis, diseño, fabricación y montaje deben hacerse de manera que se obtenga una estructura cuyo comportamiento corresponda al del tipo elegido. Debe prestarse particular atención al diseño y construcción de las conexiones.

1.2.1 Clasificación de estructuras de acuerdo a USAI Servicios Industriales.

En la actualidad existen gran cantidad y variedad de estructuras disponibles para la industria de la construcción e ingeniería. Por tal motivo existen gran variedad de estructuras, por lo que grandes fabricantes de acero como lo es Ternium y Tenaris Tamsa, encargados en la fabricación de láminas, tubos, perfiles estructurales, placas, etc. Y sus distribuidores menores como lo es *Laminas y Aceros* S.A de C.V

es uno de los principales proveedores de la empresa (USAI), la cual maneja la siguiente clasificación de estructuras metálicas:

1. Estructuras Abovedadas: Formadas por arcos, cúpulas y bóvedas que permiten cubrir espacios mayores, aumentar los huecos en las estructuras y equilibrar el peso de la construcción.
2. Estructuras Entramadas: Constituidas por barras de acero unidas de manera rígida formando un emparrillado. Los edificios son ejemplo de este tipo de estructura, se compone principalmente por vigas, columnas y cimentación.
3. Estructuras Trianguladas: Formadas por elementos lineales de poca sección denominadas barras que crean superficies estructurales planas o tridimensionales mediante la repetición de formas triangulares. Se caracterizan por la posición de las barras formando triángulos que resultan ser muy resistentes y ligeras a la vez. Este tipo de estructuras suelen utilizarse para la construcción de puentes y torres industriales.
4. Estructuras Colgantes: Se basan en la utilización de cables o tirantes unidos a soportes muy resistentes, funcionando como tracción para aguantar el peso de otros elementos. Los tirantes estabilizan la estructura y son mayormente empleados para la construcción de diferentes tipos de puentes.
5. Estructuras Laminares: Suele ser delgada y curva. A pesar de dar la impresión de no ser un tipo de material resistente, cuando se conectan las láminas entre sí se forma una capa resistente que aguanta sin problemas cargas exteriores por medio de la compresión.
6. Otras: Son aquellas que no entran en ninguna de la clasificación anterior, por el motivo que no llegan a contener ninguna de las características. Este tipo de estructuras pueden ser tipo, gaveta, guardas, barandales, mayas, racks, bases tipo placa, etc. Por tal motivo no es necesario llevar a cabo un análisis tan profundo para poder realizar dichas estructuras, basta con determinar las, tensiones, cargas, factor de seguridad, así como los esfuerzos máximo y mínimos.

1.2.2 Clasificación de estructuras de acuerdo con las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de acero.[1]

Las estructuras se clasifican en tres tipos diferentes que se describen a continuación. En cada tipo particular el análisis, diseño, fabricación y montaje deben hacerse de manera que se obtenga una estructura cuyo comportamiento corresponda al del tipo elegido. Debe prestarse particular atención al diseño y construcción de las conexiones.

1. Las estructuras tipo 1: Comúnmente designadas marcos rígidos o estructuras continuas, se caracterizan porque los miembros que las componen están unidos entre sí por medio de conexiones rígidas, capaces de reducir a un mínimo las rotaciones relativas entre los extremos de las barras que concurren en cada nudo.
2. Las estructuras tipo 2: Están formadas por miembros unidos entre sí por medio de conexiones simples, que permiten rotaciones relativas, que son capaces de transmitir la totalidad de las fuerzas normales y cortantes, así como momentos no mayores del 20% de los momentos resistentes de diseño de los miembros considerados.
3. Las estructuras tipo 3: Están formadas por miembros unidos entre sí por medio de conexiones semirrígidas o parcialmente restringidas, capaces de transmitir momentos, pero con rotaciones no despreciables entre sus extremos.

[1] Las disposiciones de esta Norma pueden ser complementadas por las versiones vigentes de los siguientes documentos de referencia: AC1, AISC, ASCE, AWS, IMCA y RCSC. El significado de las abreviaturas se muestra en el anexo 1.

1.2.3 Clasificación de las armaduras.

Las armaduras se clasifican en dos tipos diferentes que se describen a continuación.

1. Simples*:* Aquellas construidas a base de la figura mínima estable (triángulo) y a partir de allí por cada dos barras agregadas se agrega un nodo.
2. Compuestas*:* Aquellas construidas por la unión de dos cerchas (armaduras) simples usando 1 barra de unión adicional y un nodo común, o tres barras adicionales, o sustituyendo elementos de una estructura principal por cerchas o armaduras secundarias.

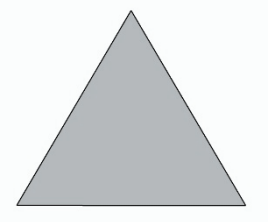


Figura 1.2.3.1: Armadura tipo simple.

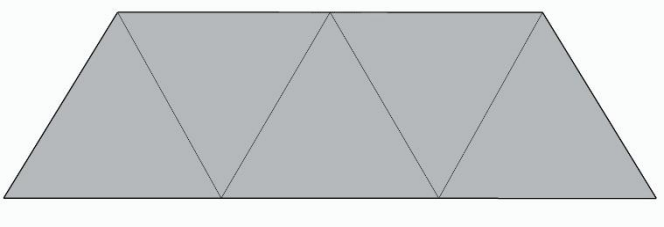


Figura 1.2.3.2: Armadura tipo compuestas.

1.3 Partes de una estructura.

Todos los sistemas estructurales están integrados por componentes, los componentes de una estructura son las siguientes:

1. Tirantes: Aquellos miembros sometidos solo a fuerzas axiales de tensión. La carga aplicada solo es en los extremos y no pueden soportar fuerzas generadoras por flexión.
2. Puntales: Son aquellos en los cuales están sometidos a fuerzas axiales de compresión de la misma manera que un tirante, la diferencia con un tirante es que un puntal puede cargarse solamente en sus extremos.

3. Vigas y trabes: Son aquellos en los cuales están sometidos a fuerzas de flexión, por lo general son miembros horizontales sometidos principalmente a fuerzas de gravedad.
4. Columnas: Son aquellos en los cuales están sometidos a fuerzas axiales de comprensión, sin embargo, también pueden estar sometidas a fuerza de flexión, generalmente estos elementos son verticales, pero pueden estar inclinadas.
5. Diafragmas: Componentes estructurales que son placas planas y posen muy alta rigidez, en su plano, generalmente se usan en pisos y muros cortantes.
6. Armadura: Es un tipo especial de marco estructural. Está compuesta enteramente de puntales y tirantes. Es decir, todos sus componentes están conectados de manera que están sometidas solo a fuerzas axiales.

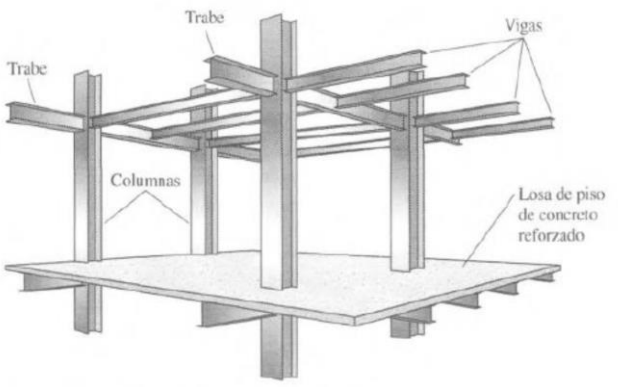


Figura 1.3.1: Partes de una estructura metálica.

1.4 Estructuras hipostáticas, hiperestáticas e isostáticas.

Las estructuras se dividen, desde el punto de vista de los métodos de análisis, en isostáticas o estáticamente determinadas, y en hiperestáticas o estáticamente indeterminadas. Las primeras son aquellas que pueden analizar utilizando únicamente las ecuaciones de equilibrio de la estática (grado de indeterminación estática GIE), es decir que pueden encontrarse las esfuerzas cortantes, momentos flexionantes, fuerzas normales y momentos torsionantes, a partir de condiciones de equilibrio solamente. Por el contrario, para analizar estructuras hiperestáticas es necesario planear además de las ecuaciones de equilibrio, ecuaciones de

compatibilidad de deformaciones entre los miembros de la estructura o entre los miembros y los apoyos.[2]

1.4.1 Grado de indeterminación estática (GIE). [3]

El grado de indeterminación estática (GIE) o grado de hiperestesiad, es el número de fuerzas redundantes de la estructura, es decir, el número de fuerzas incógnita independientes que no pueden determinarse mediante las ecuaciones de equilibrio de la estructura. Dado que el número de incógnitas estáticas excede el número total de ecuaciones de equilibrio disponibles. El número de fuerzas redundantes no varía para una misma estructura, aunque sí variará la selección que se haga entre todas las fuerzas incógnitas. En otras palabras, las EM se clasifican de manera general de acuerdo a los siguientes criterios:

Las estructuras se clasifican estáticamente, según el GIE, en:

1. Estructuras isostáticas: GIE = 0
2. Estructuras hiperestáticas: GIE > 0
3. Estructuras hipostáticas: GIE < 0

El **número total de incógnitas estáticas** se obtiene sumando las incógnitas externas (reacciones) y las incógnitas internas (esfuerzos de extremo de barra).

$$\text{Número total de incógnitas estáticas: } 6B + \sum R \quad \text{(Ecu. 1.4.1.1)}$$

El **número total de ecuaciones de equilibrio** se obtiene sumando las ecuaciones de equilibrio en nudo y en barra, que son 3 respectivamente en el caso de estructuras planas. A éstas hay que sumarle una ecuación por cada desconexión

[2] González, C. (2009) Análisis Estructural. Editorial Limusa. 1° Ed. Pg. 19

[3] Basset Salom, Luisa. Clasificación estática de las estructuras. Editorial Universitat Politécnica de València. 1° Ed. Pg. 3-4

total en extremo de barra, ya que aporta una condición de esfuerzo nulo en la dirección de la desconexión.

Número total de ecuaciones de equilibrio: $3N + 3B + \sum Dt_b$ (Ecu. 1.4.1.2)

El **GIE,** se obtiene descontando del número total de incógnitas estáticas y el número de ecuaciones de equilibrio, es decir, mediante la expresión:

$$GIE = (6B + \sum R) - (3N + 3B + \sum Dt_b) = (3B + \sum R) - (3N + \sum Dt_b)$$ (Ecu. 1.4.1.3)

La aplicación de esta expresión implica una modelización previa de la estructura, separando nudos y barras, asignando a cada extremo de éstas sus condiciones de vínculo, así como identificando los tipos de apoyo y sus reacciones asociadas. Puede utilizarse una variante de esta expresión que no necesita modelización si se distingue entre nudos libres (NL) y apoyos (A), se añaden las desconexiones totales en los apoyos (Dt_A). Entonces obtenemos:

$$3N = 3NL + 3A \quad y \quad \sum R = 3A - \sum Dt_A$$ (Ecu. 1.4.1.4)

Al sustituir en la expresión del GIE se obtiene esta nueva expresión que no necesita de modelización previa:

$$GIE = (3B + \sum R) - (3N + \sum Dt_b) = (3B + 3A - \sum Dt_A) - (3NL + 3A + \sum Dt_b)$$ (Ecu. 1.4.1.5)

Resolviendo obtenemos:

$$\mathbf{GIE = (3B) - (3NL + \sum Dt_b + \sum Dt_A)}$$ (Ecu. 1.4.1.6)

Siendo:

B = Número de barras.

N = Número de nudos.

$\sum Dt_b$= Número de desconexiones totales en extremo de barra.

$\sum R$ = Número de reacciones.

$\sum Dt_A$ = Desconexiones totales en los apoyos.

Ejemplo de estructura plana para la obtención del GIE:

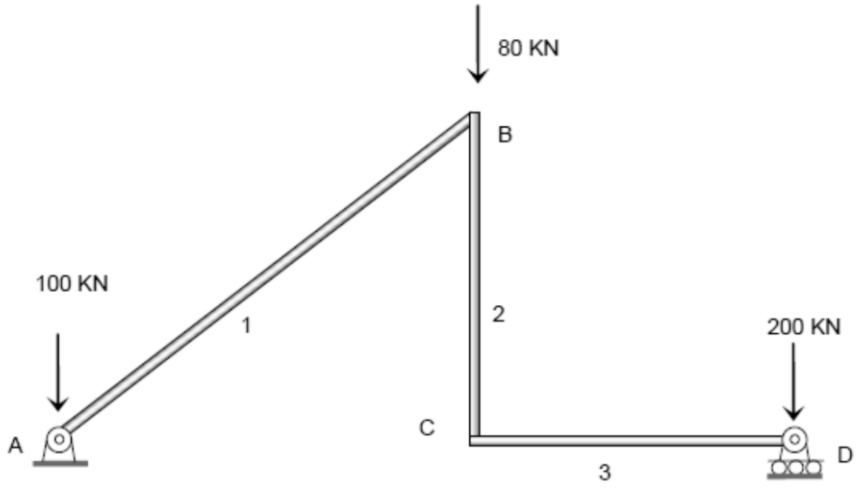


Figura 1.4.1.1: Estructura plana con 0 GIE.

B = 3 (barras 1, 2 y 3)

NL = 2 (nudos B y C)

A = 2 (apoyos A y D)

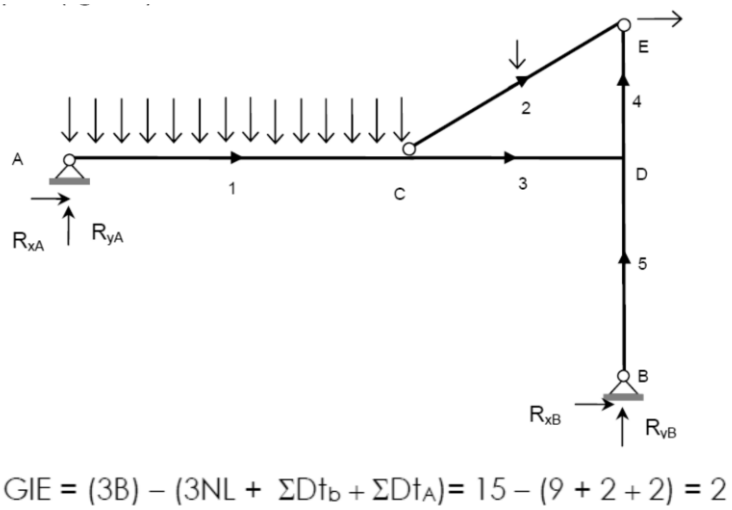
$Dt_b = 0$ (no hay desconexiones entre barras, los nudos B y C son rígidos)

$\sum Dt_A = 3$ (giro en A, movimiento horizontal y giro en D)

$$\therefore GIE = (3B) - (3NL + \sum Dt_b + \sum Dt_A) = 9 - (6 + 0 + 3)\ GIE = 0 \quad \text{(Ecu. 1.4.1.7)}$$

1.4.2 Estructura hiperestática o estáticamente indeterminadas.

Retomando lo que expone Gonzáles (2009), podemos decir a ciertamente que: La estructura hiperestática, es a aquella estructura que en estática se encuentra en equilibrio (el grado de indeterminación estática es GIE > 0). En ese caso el número de ecuaciones de equilibrio es menor que el número de incógnitas estáticas destacando que las ecuaciones que expone la estática no son suficientes para saber las fuerzas externas y reacciones que posee. Es decir que **son estructuras estables que no poseen resistencia a estímulos de movimientos externos**. Tal como se observan las figuras 1.4.2.1.



$$GIE = (3B) - (3NL + \Sigma Dt_b + \Sigma Dt_A) = 15 - (9 + 2 + 2) = 2$$

Figura 1.4.2.1: Estructura hiperestática con GIE = 2.

En las estructuras hiperestáticas podemos decir, si son del tipo internamente, externamente, o complemente hiperestáticas por lo que podemos decir que:

- Una **estructura es internamente hiperestática**, si las ecuaciones de la estática no son suficientes para determinar los esfuerzos internos de la misma.
- Una **estructura es externamente hiperestática**, si las ecuaciones de la estática no son suficientes para determinar las fuerzas de reacción que hay desde la estructura al suelo.
- Una **estructura es completamente hiperestática**, cuando se cumple que la estructura es internamente y externamente hiperestática.

1.4.2.1 Ventajas de las estructuras hiperestáticas.

1. Esfuerzos menores: En general, los esfuerzos máximos en las estructuras estáticamente indeterminadas son menores que en las estructuras determinadas. Considérese, los diagramas de momentos flexionantes para las vigas mostradas, debido a una carga uniformemente distribuida, *w.* Se puede ver, a partir de las figuras mostradas, que el momento flexionante máximo (en consecuencia, el esfuerzo máximo de flexión) en la viga indeterminada es significativamente inferior al de la determinada[4].

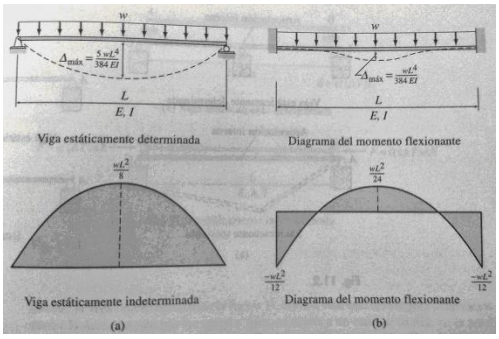


Figura 1.4.2.1.1: vigas hiperestáticas.

2. Ahorro de materiales: Por lo antes expuesto, se permite la utilización de elementos menores, con un ahorro de material posiblemente del 10 a 20% del acero utilizado.[5]
3. Mayor rigidez y menores deflexiones: En general, las estructuras hiperestáticas son más rígidas que las isostáticas y sus deflexiones o deformaciones son menores. Además, tienen mayor estabilidad frente a todo tipo de cargas (horizontales, verticales, móviles, entre otras).[6]
4. Redundancias: Las estructuras hiperestáticas, tienen la capacidad para redistribuir las cargas cuando ciertas partes estructurales se desploman en los casos de sobrecarga debido a cambios climáticos entre otros más. Debido a que tienen más reacciones en los apoyos, que los requeridos por la estabilidad estática, de modo que si una parte (o miembro o apoyo) de esa

[4,5] Kassimali, A. (2001) Análisis Estructural. Editorial Cengage Learning. 5° Ed. Pg. 441
[6,7] McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. 4° Ed. Pg. 300.

estructura falla, la estructura completa no se desplomará inevitablemente y las cargas se redistribuirán a las partes adyacentes de la estructura. [7]

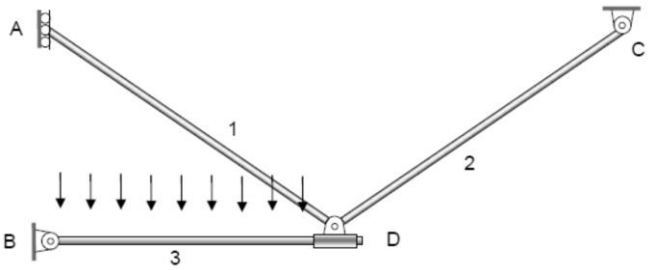
1.4.2.2 Desventajas de las estructuras hiperestáticas.[8]

1. Esfuerzos debido al asentamiento en los apoyos: Los asentamientos de los apoyos pueden inducir esfuerzos significativos en las estructuras hiperestáticas. Por lo que no son convenientes en todos aquellos casos donde las condiciones de cimentación sean impropias, pues los asentamientos o ladeos que se presenten en los apoyos de la estructura por leves que parezcan, pueden causar cambios notables en los momentos flexionantes, fuerzas cortantes, esfuerzos totales y reacciones.
2. Aparición de otros esfuerzos: Los cambios de la posición relativa de los elementos estructurales causados por variación de temperatura, fabricación deficiente o deformaciones internas por acción de la carga, pueden causar cambios graves en las fuerzas en toda la estructura.
3. Inversión de las fuerzas: Generalmente en las estructuras hiperestáticas se produce un mayor número de inversiones de fuerzas, que en las estructuras isostáticas. En ocasiones se requiere de más material de refuerzo en ciertas secciones de la estructura, para resistir los diferentes esfuerzos.
4. Dificultad de análisis y diseño: Las fuerzas en las estructuras estáticamente indeterminadas dependen no únicamente de sus dimensiones, sino también de sus propiedades (módulo de elasticidad, momentos de inercia, secciones transversales, entre otros). Esta situación da lugar a una seria dificultad en cuanto a su diseño: no podrán determinarse las fuerzas sino hasta conocer las dimensiones de los elementos estructurales, y no podrán determinarse las dimensiones sí no se conocen antes las fuerzas que actúan en ellos.

[8] McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. Pg. 302.

1.4.3 La estructura isostáticas o estáticamente determinadas.

Es aquella cuando el GIE = 0, en la que puede ser analizas bajos los principios de la estática, en ese caso el número de ecuaciones de equilibrio coincide con el número de incógnitas estáticas y la eliminación de alguna de sus partes conduce al colapso total de la misma. Por lo que la sumatoria (∑) de momentos y de fuerzas en los planos X, Y, Z debe ser igual a cero.



$$\sum F = 0$$

$$\sum M = 0$$

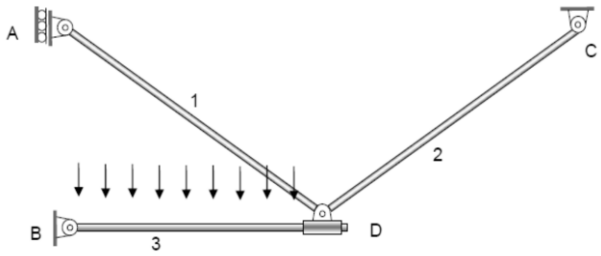
(Ecu. 1.4.3.1)

$$GIE = (3B) - (3NL + \Sigma Dt_b + \Sigma Dt_A) = 9 - (3 + 3 + 3) = 0$$

Figura 1.4.3.1: Estructura isostática GIE = 0.

1.4.4 Las estructuras hipostáticas.

Una estructura es hipostática cuando el GIE < 0. En ese caso el número de ecuaciones de equilibrio es excesivo ya que supera el número de incógnitas estáticas. Se trata de un mecanismo, es decir, una estructura inestable que no puede equilibrarse puesto que está en constante movimiento.



$$GIE = (3B) - (3NL + \Sigma Dt_b + \Sigma Dt_A) = 9 - (3 + 3 + 4) = -1$$

Figura 1.4.4.1: Estructura hipostática con GIE = -1.

1.5. Cargas estructurales.

Una EM de ser adecuada para soportar todas las cargas a las que puedan estar sometidas durante su tiempo de vida útil. No solamente debe sustentar estas cargas con seguridad, sino que debe hacerlo de manera tal que las **deflexiones y las vibraciones no sean grandes** como para asustar a los ocupantes o causar grietas.[9]

Las cargas son fuerzas exteriores que actúa sobre un cuerpo estructural. Se expresan en unidades de peso (kg), peso por longitud (Kg/m) o en peso por superficie unitaria (kg/m²) según el Sistema Métrico Decimal. Cabe mencionar que los esfuerzos (apartado 1.7) son consecuencias de las cargas, por lo que es necesario conocer las cargas a las que estará sometido cada uno de esos miembros estructurales, ya que dichos miembros hacen uso de la rigidez y resistencia para soportar dichas cargas. Dichos conceptos se exponen a continuación:

1. **La rigidez:** Es cuando la carga actúa y no produce deformación. En otras palabras, es la capacidad de un cuerpo para resistir una carga sin deformarse.
2. **Resistencia:** Es cuando la carga actúa y produce deformación. En otras
3. palabras, es la capacidad de un cuerpo para resistir una fuerza aun cuando haya deformación.
4. **Estabilidad**: Es la capacidad de un elemento de oponerse a perturbaciones, manteniendo el equilibrio. En otras palabras, es la capacidad de un cuerpo de mantener su firmeza ante perturbaciones externas o internas.

[9,10] McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. 4° Ed. Pg. 17.

1.5.1 Consideraciones generales en el diseño de las EM.[10]

De acuerdo a las cargas estructurales podemos tener unas ciertas consideraciones para contemplar un diseño aceptable y optimo acerca de una EM, anteponiendo las cargas y los efectos que esta producen, mas adelante abordaremos mas a detalle sobre todos los aspectos fundamentales acerca de un buen diseño.

1. La resistencia de los materiales puede variar considerablemente de sus valores supuestos y varia más con el tiempo debido al flujo, la corrosión y la fatiga.
2. Con frecuencia los métodos de análisis estructural están sujetos a errores.
3. Los llamados “actos de dios” como terremotos, huracanes, lluvia, etc. causan cargas que son muy difíciles de predecir.
4. Hay cambios tecnológicos que ocasionan un incremento de cargas como, la acumulación de peso en un área determinada
5. Cargas ocasionadas por opresiones de construcción pueden ser difíciles de predecir.
6. Variaciones del tamaño de los miembros y las concentraciones de esfuerzos.

1.5.2 Tipos de cargas estructurales.

Una EM debe ser capaz de soportar las cargas exteriores (ambientales), las cuales distribuyen su efecto por sus diferentes elementos estructurales, además, los elementos de una EM deben de aguantar su propio peso, fuerzas y cargas, tanto como internas como exteriores. Las cargas que soportan las EM generan fuerzas internas en la propia estructura (tensiones), que tienden a deformarlas y/o romperlas. A estas fuerzas deformantes producidas por las cargas se las llaman

esfuerzos.[11] En otras palabras son fuerzas que evitan que la estructura falle, para que resista sin desmontarse.

Dependiendo de la posición de la carga en la estructura y del tipo de fuerzas, pueden llegar a soportar distintos tipos de esfuerzos, estos tienen distintos orígenes como lo son que se mencionan a continuación:

1. Debidas a su propio peso (toda estructura debe soportarse a sí misma).
2. Debidas al peso, movimiento o vibraciones de los elementos que componen el conjunto del sistema técnico. Por ejemplo, el cuadro de una bicicleta no debe deformarse cuando una persona suba a ella o cuando tope con baches mientras circula, etc.
3. Debidas a agentes externos al propio sistema técnico (clima). Por ejemplo, un puente no debe caerse por el efecto del viento, el tejado de una casa no debería venirse abajo cuando se acumule nieve sobre él, etc.

1.5.2.1 Clasificación de cargas de cuerdo a su carácter y a su duración.

Según McCormac (2010) afirma que en general, las cargas estructurales son clasificadas atendiendo a su carácter y a su duración.[12] Por lo que tenemos la siguiente clasificación.

1. Cargas muertas: Aquellas cargas de magnitud constante que pertenecen en una sola posición, estas incluyen el peso de la estructura considerada, así mismo cualquier accesorio unido a ella.
2. Cargas vivas: Aquellas cargas que pueden cambiar su magnitud y posición. Incluyen las cargas de ocupación, materiales almacenados, grúas, elevadores, etc. En general todas aquellas inducidas por la gravedad.

[11] Revista digital para profesionales de la enseñanza. N°15 – Julio 2011. ISNN:1989-4023
[12,13] McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. 4° Ed. Pg. 16 - 20.

3. Cargas ambientales: Aquellas cargas causadas por el ambiente (condiciones climáticas) en que se encuentra la estructura.[13]
4. Cargas de repetición (fatiga): Se aplican un gran número de veces a un miembro produciéndose efectos variables que motivan desgaste y/o rotura del material.
5. Cargas concentradas: Son las que se aplican en un área pequeña, en comparación con la total del miembro resistente.

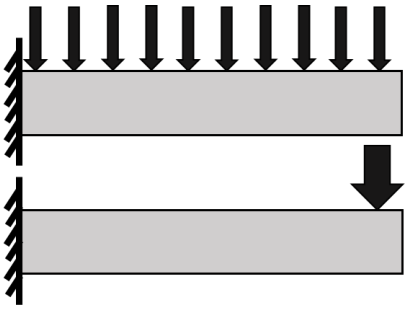


Figura 1.5.2.1.1: Piezas sometidas a carga repartida (arriba) y carga concentrada (abajo).

   5.1 Carga concentrada o puntual: Está formada por fuerzas actuando en un punto definido como, por ejemplo, una fuerza aplicada o un momento aplicado. Están expresadas en unidades de fuerza o de momento (N, lb, Kgf, N/m, lb/ft, Kgf/m, etc.).
   5.2 Carga distribuida o repartida: Son cargas por unidad de superficie. Se expresa en unidades de fuerza sobre unidades de longitud (N/m, lb/ft, Kgf/m). La magnitud de la fuerza originada por esta carga es igual al área de la forma generada por la carga y se ubica en el centroide.
   5.3 Carga permanente o con carga: Son cargas que existen siempre manteniéndose constantes en magnitud y posición a lo largo del tiempo.
   5.4 Carga variable o sobrecarga: Son cargas cuya magnitud y posición puede ser variable a lo largo del tiempo. Por ejemplo, pueden ser sobrecarga de uso, tránsito, personas, vehículos, sobrecarga de acciones climáticas, etc.
6. Estáticas: Son las que se aplican gradualmente y se consideran constantes después de aplicadas. Para estudiarlas se dividen en cargas vivas y cargas muertas. [14]

[14] Aguado Crespo, F. (1987) Introducción a la Construcción. Editorial. Pueblo y Educación. La Habana. Pg. 120

1.5.2.2 Clasificación de cargas en función de su área de actuación y en función de su permanencia en el tiempo.

Según Rodas (2014) Las cargas estructurales se clasifican en función de su área de actuación y en función de su permanencia en el tiempo.

En función de su área de actuación:[15]

1. Cargas puntuales: Llamadas también cargas concentradas, son aquellas que actúan sobre un área muy pequeña en comparación con la del elemento que las recibe, se las representa como si actuaran sobre un punto. Se expresan en kilogramos, toneladas, libras, etc. Con omisión de su área de actuación.
2. Cargas lineales: Llamadas también distribuidas, son aquellas que actúan sobre una superficie en la que una de sus dimensiones es despreciable. Se les expresa en kg/ml, ton/ml, lb/ft, etc.
3. Cargas superficiales: Actúan sobre una superficie cuyas dimensiones son comparables entre sí, se las expresa en kg/m^2; ton/m^2; lb/ft^2, etc.

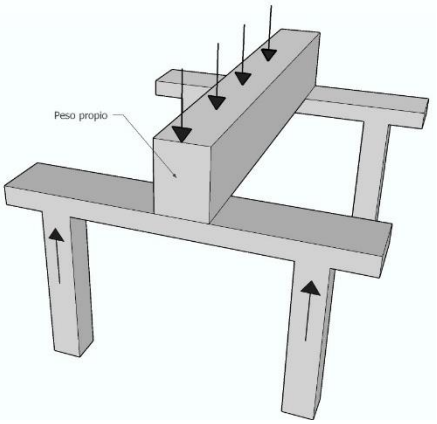


Figura 1.5.2.2.1: Carga puntuales en vigas.

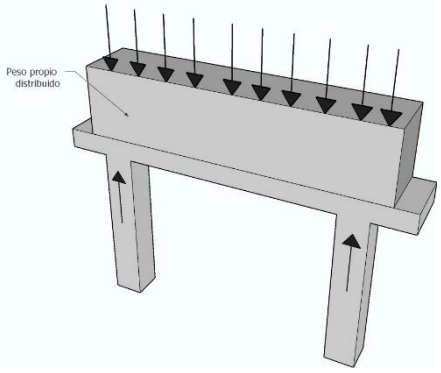


Figura 1.5.2.2.2: Cargas lineales en vigas.

[15] Rodas, H. (2014). ESTRUCTURAS 1 APUNTES DE CLASE. Editorial Gráficas del Sur. Pg. 25.

En función del tiempo de permanencia:[16]

1. Carga muerta: Es aquella que permanece indefinidamente en el elemento estructural, por ejemplo, los pesos propios, los pisos, las decoraciones, los revestimientos, etc.
2. Carga viva: Es aquella que, con certeza, se presentará periódicamente durante la vida útil de la estructura, como las personas, inmobiliario, los vehículos en un puente, etc.

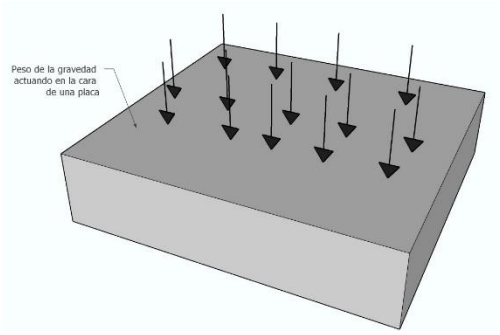


Figura 1.5.2.2.3: Cargas superficiales en una placa.

3. Carga accidental: Es aquella que eventualmente puede presentarse durante la vida útil de la estructura, que debe estar diseñada para soportarla en función del riesgo de su ocurrencia, ya que dependen de la ubicación geográfica de la estructura.
4. Otras solicitaciones: Nos referimos aquí a los esfuerzos que responden a cambios de temperatura o retracción de fraguado.

[16] Rodas, H. (2014). ESTRUCTURAS 1 APUNTES DE CLASE. Editorial Gráficas del Sur. Pg. 29.

1.6 Tipos de fuerzas.

La fuerza es una magnitud vectorial (con dirección y sentido) que tiende a producir un cambio en la dirección de un cuerpo o la modificación de su estructura interna, es decir tiende a producir una **deformación**. Debido a su carácter vectorial, las fuerzas son clasificadas como fuerzas de cuerpo o másicas y fuerzas de superficie; estas últimas divididas en simples y compuestas[17].

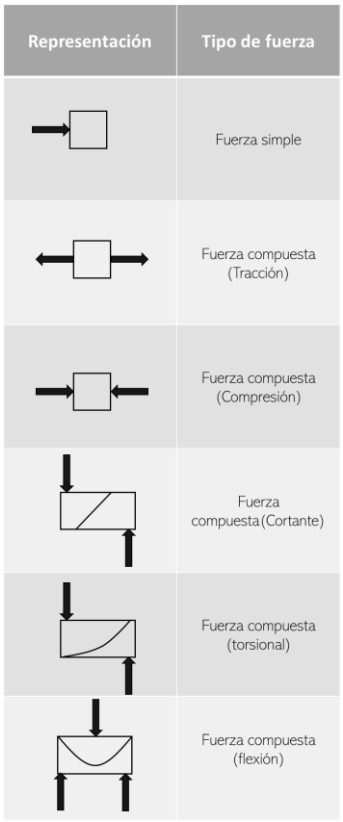


Figura 1.6.1: Tipos de fuerzas actuantes en las estructuras.

1. Las fuerzas de cuerpo o másicas: Están en relación directa con la masa del cuerpo (de allí su nombre) al cual se aplican, aunque su origen puede ser debido a causas externas. Como ejemplos, tenemos a las fuerzas inducidas por la gravedad, las centrífugas, las creadas por los campos magnéticos, etc.
2. Las fuerzas de superficie: Dependen siempre de causas externas al cuerpo; y no guardan relación alguna con la masa del mismo. Se llaman así porque se puede considerar que son aplicadas a una superficie de algún cuerpo, como ocurre con las fracturas originadas por eventos tectónicos.
3. Las fuerzas simples: Tienden a producir movimiento sin alterar la forma.
4. Las fuerzas compuestas: Consisten en dos fuerzas actuando en sentidos contrarios sobre la misma línea recta de acción y tienden a producir distorsión (cambio de forma). Se dividen en tensiónales, cuando son divergentes; y compresivas o compresionales cuando convergen hacia el cuerpo.

[17] Gutiérrez Alonso G. (2002). Esfuerzo y deformación Curso 2002-03. Universidad de Salamanca. 1° Ed. Pg. 9

1.6.1 Sistemas de fuerzas.

Se denomina sistema de fuerzas al conjunto de las fuerzas que actúan en un sistema material cualquiera. Siendo las fuerzas asimilables a vectores aplicados en un punto. Los sistemas de fuerzas gozan de todas las propiedades de los sistemas de vectores aplicados; y particularmente cuando las fuerzas son asimilables a vectores deslizantes son aplicables las teorías de los momentos, pares y reducción de sistemas de vectores. Un sistema de fuerzas puede sustituirse por otro equivalente que produzca el mismo efecto mecánico (igual resultante e igual momento). Las fuerzas que actúan en un sistema se pueden clasificar en fuerzas exteriores e interiores.[18]

1.6.2 Unidades de fuerza.

En los sistemas de unidades inglés e internacional, la unidad fundamental es la masa (gr y Kg, respectivamente). La unidad de Fuerza en cada uno de estos sistemas se define respectivamente como: *La fuerza que es necesaria aplicar a un cuerpo de masa con una unidad para que adquiera una aceleración igual a una unidad de longitud por cada unidad de tiempo elevada al cuadrado*, por lo que, desde el punto de vista matemático la fuerza se puede expresar como:

$$F = m * a,\ donde: F = fuerza,\ m = masa,\ a = aceleración \quad \text{(Ecu. 1.6.1.1)}$$

En el sistema Cegesimal de Unidades (centímetro, gramos y segundo) la unidad de fuerza es la **dina (dyn).** Se define como **la fuerza que, aplicada a la masa de un gramo, le comunica una aceleración de 1 centímetro en un segundo al cuadrado**.

$$\mathbf{1}\ \boldsymbol{dyn} = 1\ \frac{gr*cm}{s^2} \quad \text{(Ecu. 1.6.1.2)}$$

[18] Teoría y cálculo de estructuras. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Ingeniería Técnica de Topografía. Pg. 4

En el Sistema Internacional MKS (metro, kilogramo y segundo) la unidad de fuerza es el **newton (N). Un newton se define como la fuerza que aplicada durante un segundo a una masa de 1 kg incrementa su velocidad en 1 m/s²**.

$$\mathbf{1}\,\boldsymbol{N} = 1\frac{Kg*m}{s^2} \quad \text{(Ecu. 1.6.1.3)}$$

***Nota*:** Si un cuerpo cuya masa es de 1 Kgf (en el sistema internacional). Le haría adquirir una aceleración de ≈9.81 m/s² si cayera libremente al vacío. La equivalencia en el sistema inglés es la siguiente: 1 Kgf ≈ 9.81 N. Esto es debido a que un newton es la fuerza necesaria para someter una masa de 1Kg a una aceleración de ≈9.81 m/s².[19]

[19] Gutiérrez Alonso G. (2002). Esfuerzo y deformación Curso 2002-03. Universidad de Salamanca. 1° Ed. Pg. 9

1.7 Esfuerzos estructurales.

En una estructura o armadura, sus elementos estructurales quedan sometidos a diferentes tipos de fuerzas que llegan a convertirse en esfuerzos.

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del mismo material por lo que se distribuyen en toda el área, por tal motivo se dice que: **Es la fuerza por unidad de superficie que soporta o se aplica sobre un cuerpo**, es decir es la relación entre la fuerza aplicada y la superficie en la cual se aplica. Una fuerza aplicada a un cuerpo no genera el mismo esfuerzo sobre cada una de las superficies del cuerpo, pues al variar la superficie varia la relación fuerza/superficie, lo que comprende el esfuerzo.[20]

Cargas	Son fuerzas que actúan sobre las estructuras tanto internas como externas.
Tensión	Es la relación que se produce en el interior de los elementos de una estructura cuando ésta se aplica una carga.
Fuerzas	Son las reacciones debido a las cargas a las que se somete la estructura, es decir van atratar de mantener el cuerpo unido.
Esfuerzos	Son fuerzas internas o externas en la propia estructura que tiene que soportar para no ser deformadas.
Deformaciones	Es el cambio de forma de una estructura el cual se debe a las cargas y factores externos entre otras cosas mas.
Falla	Es el resultado final de una estructura al no poder soportar las cargas y esfuerzos.

Figura 1.7.1: Cuadro sobre los diferentes conceptos aplicados en las estructuras.

Los esfuerzos son fuerzas internas de resistencia que aparecen en las estructuras y que evitan que ésta falle, las deformaciones son la consecuencia de los esfuerzos, dichas deformaciones serán consecuencia de las fuerzas aplicadas sobre toda la estructura.

[20] Esdrit V González. (2014). Esfuerzo y deformación. Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Extensión Porlamar. 1° Ed. Pg. 3

1.7.1 Unidades de esfuerzo.

El esfuerzo utiliza unidades de fuerza sobre unidades de área, en el sistema internacional (SI) la unidad de fuerza es el Newton (N) y el área en metros cuadrados (m^2), el esfuerzo se expresa como N/m^2 o Pascal (Pa). Esta unidad es un poco pequeña cuando se trabaja con estructuras de gran tamaño, por lo que se emplean múltiplos, como Kilopascal (KPa), Megapascal (MPa) o Gigapascal (GPa). En el sistema americano, la fuerza es en libras (Ib) y el área en pulgadas cuadradas (In^2), por lo que el esfuerzo queda expresad en libras sobre pulgadas cuadradas (Ib/In^2 conocida comúnmente como PSI).

1.7.2 Clasificación de esfuerzos.

Los esfuerzos pueden clasificarse de diferentes formas, por lo que diversos autores o instituciones manejan clasificaciones diferentes, por ende, la siguiente clasificación engloba todas aquellas que pueda existir actualmente. En consecuencia, los esfuerzos y deformaciones producidos en los elementos estructurales se clasifican de la siguiente manera:

1. Uniaxiales: Son fuerzas de igual magnitud, en el mismo eje del elemento, pero opuestas en dirección. Como lo son los esfuerzos de tracción (tensión), torsión y flexión.
2. Axiales: Son aquellos debidos a fuerzas que actúan a lo largo del eje del

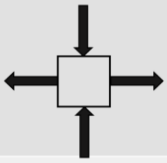
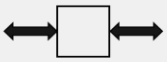
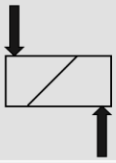
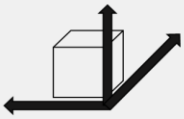
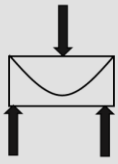
Representación	Tipo de esfuerzo
	Uniaxial (Un solo eje con fuerzas opuestas pero de igual magnitud)
	Axial (Un eje con fuerzas opuestas de diferente magnitud)
	Biaxial (Un eje no perpendiculares de igual o diferente magnitud)
	Triaxiales (Tres ejes de igual o diferente magnitud o puestas o similares)
	Compuestos (Pieza sometida a uno o mas de estos esfuerzos)

Figura 1.7.2.1: Tipos de esfuerzos.

elemento. Los esfuerzos normales axiales por lo general ocurren en elementos como cables, barras o columnas, las cuales pueden ser de tensión o de compresión.

3. Biaxiales: Son fuerzas que actúan a lo largo de planos que no son perpendiculares al eje del elemento o material, por lo general ocurren en elementos o recipientes de pared delgada los cuales pueden ser sometidos a presión. Las fuerzas axiales causan esfuerzos tanto normales como cortantes.
4. Triaxiales: Son fuerzas de igual o diferente magnitud, que actúan a lo largo de los tres ejes de un elemento estructural sometidos a cargas, que tienden a producir esfuerzos normales.
5. Combinados: Resultan de la combinación de dos o más esfuerzos anteriormente mencionados[21].

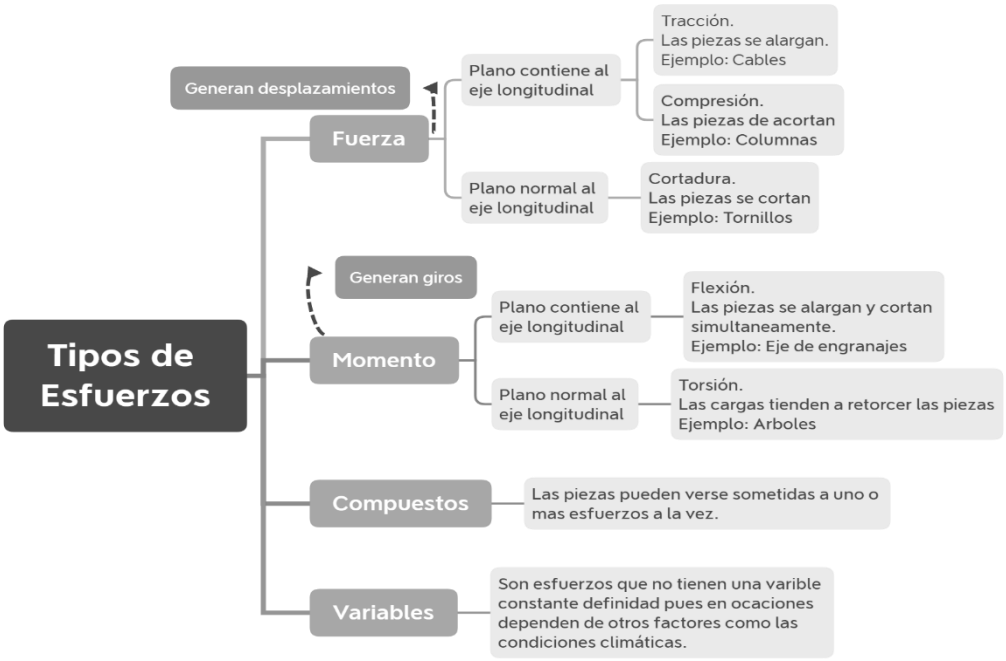


Figura 1.7.2.2: Cuadro conceptual sobre los tipos de esfuerzos.

[21] Salazar, T. (2007) Resistencia de material básica para estudiantes de ingeniería. Editorial Manizales. 1° Ed. Pg. 15

1.7.3 Tipos de los esfuerzos.

Dependiendo de la carga aplicada y la dirección en una estructura, se producirán diferentes tipos de esfuerzos, a los que quedan sometidos los elementos de dicha estructura, dichos esfuerzos son los siguientes:[22]

1. Esfuerzo de tracción.
2. Esfuerzo de compresión.
3. Esfuerzo cizalladura o corte.
4. Esfuerzo de flexión.
5. Esfuerzo pandeo
6. Esfuerzo de torsión.
7. Esfuerzo fatiga.

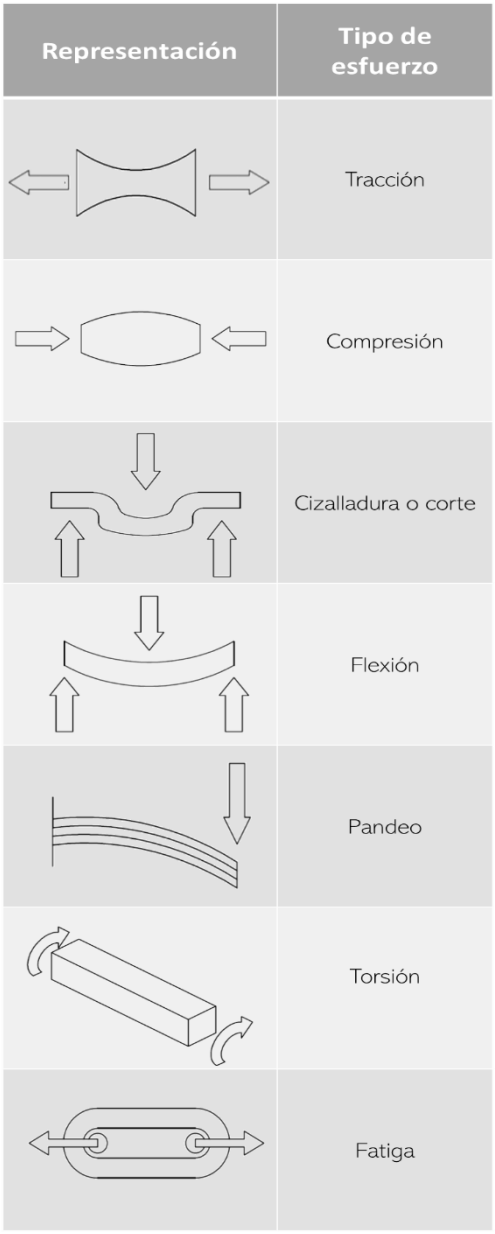


Figura 1.7.3.1: Principales esfuerzos.

1.7.3.1 Esfuerzo de tracción.

Es el esfuerzo al que estará sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto; y tienden a estirarlo. La tracción produce un alargamiento sobre el eje **X**, produce a su vez una disminución sobre los ejes **Y, Z**. Esto se conoce como módulo de **Poisson**.

1.7.3.2 Esfuerzo de compresión.

Es el esfuerzo al que estará sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido del eje; y tienden

[22] Revista digital para profesionales de la enseñanza. N°15 – Julio 2011. ISNN:1989-4023. Pg. 7

acortarlo. Este esfuerzo es el contrario del esfuerzo de tracción; y hace que se aproximen las diferentes partículas de un material, tendiendo a producir acortamientos o aplastamientos.

1.7.3.3 Esfuerzo de Cizalladura o corte.

Es el esfuerzo que soportara una pieza, cuando sobre ella actúan fuerzas perpendiculares contenidas en la propia superficie de actuación, haciendo que las partículas del material tiendan a resbalar o desplazarse unas sobre las otras.

1.7.3.4 Esfuerzo de flexión.

Es una combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza están sometidas a un esfuerzo de flexión (se alargan) y las inferiores se acortan, o viceversa, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo, comúnmente conocido como **momento flector**.

1.7.3.5 Esfuerzo de pandeo.

Es un comportamiento típico de los elementos estructurales (estrechos y largos), que están sometidos a esfuerzos de compresión. Cuando la carga de compresión aumenta progresivamente llega a un valor en el cual el elemento esbelto, en lugar de limitarse, a cortar su altura, curva su eje; una vez que esto ocurre, aunque no se incremente el valor de la carga el elemento continúa curvándose hasta el colapso definitivo. Una característica del pandeo es que las deformaciones y tensiones no son proporcionales a las cargas actuantes, aun cuando el material se comporte elásticamente (las tensiones son proporcionales a las deformaciones especificas).

1.7.3.6 Esfuerzo de torsión.

Es la solicitación (reacción interna) que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento, dichas fuerzas son las que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central, dando lugar a tensiones cortantes.

1.7.3.7 Esfuerzo de Fatiga.

Consiste en la repetición cíclica de una carga sobre un material. Estas cargas repetidas pueden formar una microgrieta sobre un defecto estructural, principalmente debido a una concentración de tensiones, que se va propagando carga a carga, hasta producir el fallo del material por fatiga. La rotura por fatiga tiene un aspecto frágil aún en metales dúctiles, puesto que las deformaciones plásticas asociada a la rotura son mínimas.

1.8 Momento.

El momento, es la combinación de una fuerza aplicada a una cierta distancia respecto a un punto de un miembro estructural. Conocido como torque o momento dinámico, es una magnitud vectorial que mide la capacidad que posee una fuerza para un desplazamiento de giro o rotación del objeto. Expresado como:

$$M = F * d \quad \text{(Ecu. 1.8.1)}$$

siendo F la fuerza en Newton (N), d la distancia en metros (m) y M el momento, que se mide en Newton por metro (Nm).

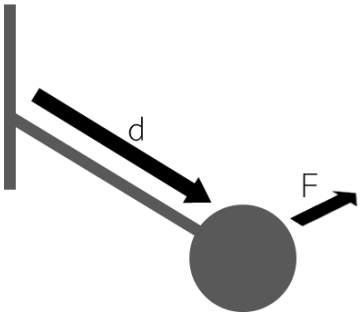


Figura 1.8.1: Momento

1.9 Apoyos y enlaces entre elementos estructurales.

Las fuerzas reactivas o reacciones son las que se originan en determinados puntos del sistema estructural, debido a las ligaduras que surgen cuando actúan fuerzas activas. Las ligaduras impiden total o parcialmente el libre movimiento de la sección de un sólido. En otras palabras, son los enlaces o apoyos que restringen de alguna manera los movimientos del sistema estructural y permiten la transmisión de los esfuerzos.

Las restricciones al movimiento están asociadas a fuerzas de reacción o reacciones de los enlaces, que son las acciones necesarias para impedir o accionar los movimientos que los enlaces restringen. Estas fuerzas se denominan de reacción porque sólo se producen como reacción o respuesta a un intento de realizar el movimiento que el enlace prohíbe. En cada ligadura existe una reacción que, en general, estará formada por una fuerza y por un momento.

Las ligaduras se representan y simbolizan mediante apoyos pudiéndose clasificar de la siguiente manera[23]:

1. Apoyo articulado móvil: Es libre el movimiento de la sección del vínculo en la dirección del eje X, así como el giro en el plano X, Y. La reacción se reduce a una fuerza perpendicular al posible desplazamiento del apoyo, equivale por tanto a una incógnita que es el módulo de la reacción X.

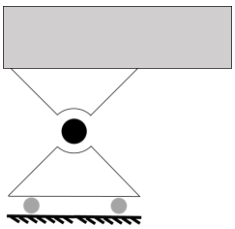


Figura 1.9.1: Apoyo articulado móvil en estructuras.

[23] Villarino. Alberto. (2010). Teoría y cálculo de estructuras. Editorial. Universidad de Salamanca Licencia CC-BY-NC-SA. Pg. 237 – 240.

2. Apoyo articulado fijo: El desplazamiento está impedido tanto en la dirección del eje X como del eje Y, pero el giro en el plano X, Y no lo está. Las reacciones son en las direcciones de estos dos ejes. Permitiendo solo el giro.

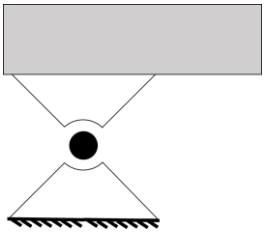


Figura 1.9.2: Apoyo articulado fijo en estructuras.

3. Apoyo empotrado o empotramiento: Están impedidos los desplazamientos en las direcciones de los ejes X, Y así como el giro en el plano X, Y quedando por lo tanto inmovilizada la sección.

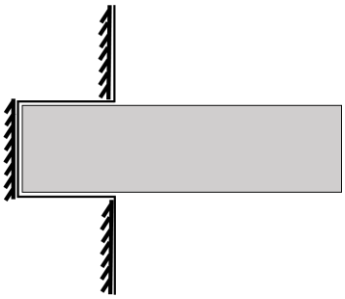


Figura 1.9.3: Apoyo articulado empotrado en estructuras.

1.10 Condición de equilibrio de un sólido rígido.

Para que un sólido esté en equilibrio, tienen que estar cada uno de los puntos materiales que componen el sólido. El punto material puede estudiarse como libre sometido a las fuerzas exteriores e interiores, pero estás, por ser pares y opuestas tienden a equilibrarse. Por tanto, el equilibrio del sólido depende exclusivamente de las fuerzas exteriores (activas y reactivas).[24]

Por lo que se expresa como condición necesaria para que un sólido esté en equilibrio, que la fuerza resultante y el momento, respecto a un punto cualquiera del sólido, deben ser iguales a cero. Obteniéndose por tanto las ecuaciones de equilibrio también llamadas ecuaciones básicas de la estática. Las cuales se mencionan a continuación:

1. La suma algebraica de fuerzas en el eje X que se denominan Fx, o fuerzas con dirección horizontal, son igual a cero.

$$\sum Fx = 0 \quad \text{(Ecu. 1.10.1)}$$

2. La suma algebraica de fuerzas en el eje Y denominadas Fy, o fuerzas con dirección vertical, son igual a cero.

$$\sum Fy = 0 \quad \text{(Ecu. 1.10.2)}$$

3. La suma algebraica de momentos M, o tendencias de giro respecto a un punto determinado en equilibrio, son igual a cero.

$$\sum Mpto = 0 \quad \text{(Ecu. 1.10.3)}$$

Estas ecuaciones expresan el hecho de que los componentes de las fuerzas externas en las direcciones X, Y, así como los momentos de las fuerzas externas

[24] Villarino. Alberto. (2010). Teoría y cálculo de estructuras. Editorial. Universidad de Salamanca Licencia CC-BY-NC-SA. Pg. 241.

están en equilibrio. Por tanto, el sistema de fuerzas externas no impartirá ni movimiento de traslación ni de rotación al cuerpo rígido considerado.

1.11 Análisis estructurales.

El análisis estructural consiste en la determinación del efecto de las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con objetivo de efectuar las comprobaciones de los límites de estado y de servicio. Además, el análisis estructural proporciona resultados a nivel global (reacciones, desplazamientos) y a nivel seccional (esfuerzos, curvaturas, elongaciones, etc.). Debe servir, también, para determinar el comportamiento a nivel local (tensiones, deformaciones) de aquellas zonas singulares, en las que las hipótesis clásicas de la resistencia de materiales no sean aplicables: zonas locales próximas a cargas concentradas, nudos, cambios bruscos de sección, etc.

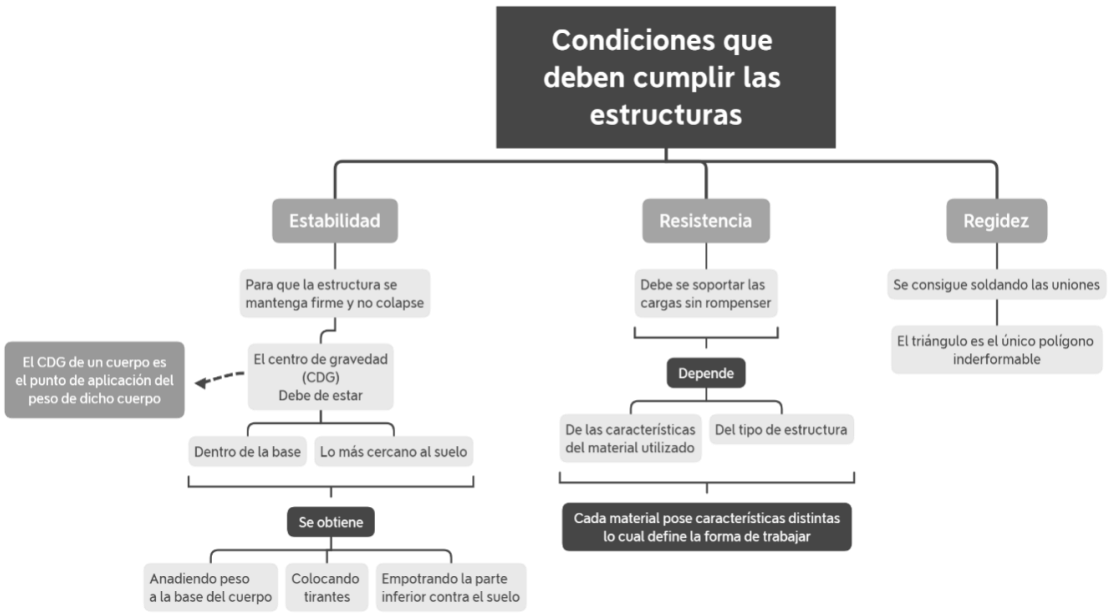


Figura 1.11.1: Cuadro sobre las condiciones en estructuras.

1.11.1 Principio fundamental aplicado al análisis estructural.

El principio más aplicado en el análisis estructural son las leyes del movimiento y de la inercia de Newton, la cual se expresan de la siguiente manera[25]:

1. Un cuerpo estará en reposo o en estado de movimiento uniforme en línea recta o al menos que sea forzado a cambiar de estado por fuerzas impuestas a él.
2. La razón de cambio del momento o cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta aplicada.
3. Para toda acción existe una reacción igual y opuesta, de la misma magnitud a la inicial.

Las leyes del movimiento pueden expresarse con la ecuación:

$$\sum \boldsymbol{F} = \boldsymbol{ma} \quad \text{(Ecu. 1.11.1.1)}$$

En la ecuación anterior ∑F es la sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, siendo *m* es la masa del cuerpo y *a,* la aceleración.

1.11.2 Métodos para resolver vigas hiperestáticas.

Una viga hiperestática, es aquella que tiene más condiciones de contorno, es decir, movimientos impedidos, de los que son estrictamente necesarios para su estabilidad. Debido a esto su cálculo no se realiza con las ecuaciones de equilibrio, sino recurriendo a los esfuerzos y deformaciones a partir de las ecuaciones constituidas del material. Para la solución de estas vigas se requieren ecuaciones adicionales a las del equilibrio estático, lo cual consiste en hacer el análisis de las deformaciones angulares o rotaciones de los nodos cuando las barras se flexionan (pandean), bajo el efecto de las cargas aplicadas. Hay que recalcar que no haremos

[25] McCormac, J. (2010). Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. 4° Ed. Pg. 7.

una profundización tan a detalle por cada uno de los métodos para resolver vigas, solo lo abordaremos de manera general, debido a lo extenso de los temas.

Los métodos para resolver las vigas hiperestáticas son los siguientes:

1. Método de superposición.
2. Método de tres momentos.
3. Método de integración.
4. Método de Cross.

1.11.2.1. Método de superposición.

De acuerdo con Singer y Pytel, (1982). Este procedimiento llamado superposición, determina la pendiente y de flexión en un punto mediante la suma de las pendientes o deflexiones producidas en ese mismo punto, por cada una de las cargas cuando actúan por separado. Como método alternativo para la evaluación de pendientes y ordenadas de la elástica se pueden utilizar los resultados de algunos tipos sencillos de cargas, para obtener por suma de efectos, a las soluciones correspondientes a cargas más complicadas.[26]

A continuación, enumeramos los pasos a seguir con este método:

1. Seleccionamos tantas reacciones redundantes como grado de indeterminación tenga la viga, tratando siempre que la viga primaria sea estable y presente todos los estados de carga contenidos en las tablas de superposición.
2. Asumimos las reacciones anteriores como cargas externas.
3. Se plantea un total de casos de carga o subproblemas equivalente al número de cargas externas más las reacciones escogidas como redundantes.

[26] Singer y Pytel. (1982). Resistencia de materiales introducción a la mecánica de sólidos. Editorial Harla. 4° Ed. Pg. 227.

4. Se asocia un caso de deformación, con cada reacción redundante, es así como una reacción tipo “fuerza” se corresponde con una deformación tipo “flecha o deflexión”, mientras que una reacción tipo “momento” se asocia con una deformación tipo “giro”. Estas deformaciones deben ocurrir en el mismo punto de aplicación de las reacciones redundantes.
5. Se plantean tantas ecuaciones de deformaciones compatibles como sea el número de reacciones redundantes. Para ello se plantea, que las deformaciones asociadas tengan el valor de deformación de la viga original y su curva elástica en los puntos específicos, que suele ser en los apoyos.
6. Se tendrá un número equivalentes de ecuaciones y de reacciones redundantes. Se resuelve el sistema, dando como resultado los valores de las reacciones redundantes.
7. Se encuentran las demás reacciones no redundantes, por las ecuaciones de equilibrio estático.

A continuación, se muestra un ejemplo de escogencia de dos tipos diferentes de reacciones redundantes para una misma viga. En el primer caso se resuelve el sistema por las tablas de vigas en cantiléver[27], en el segundo por las tablas de vigas simplemente apoyadas.

[27] Cualquier viga, travesaño u otro miembro estructural que se proyecta de forma voladiza.

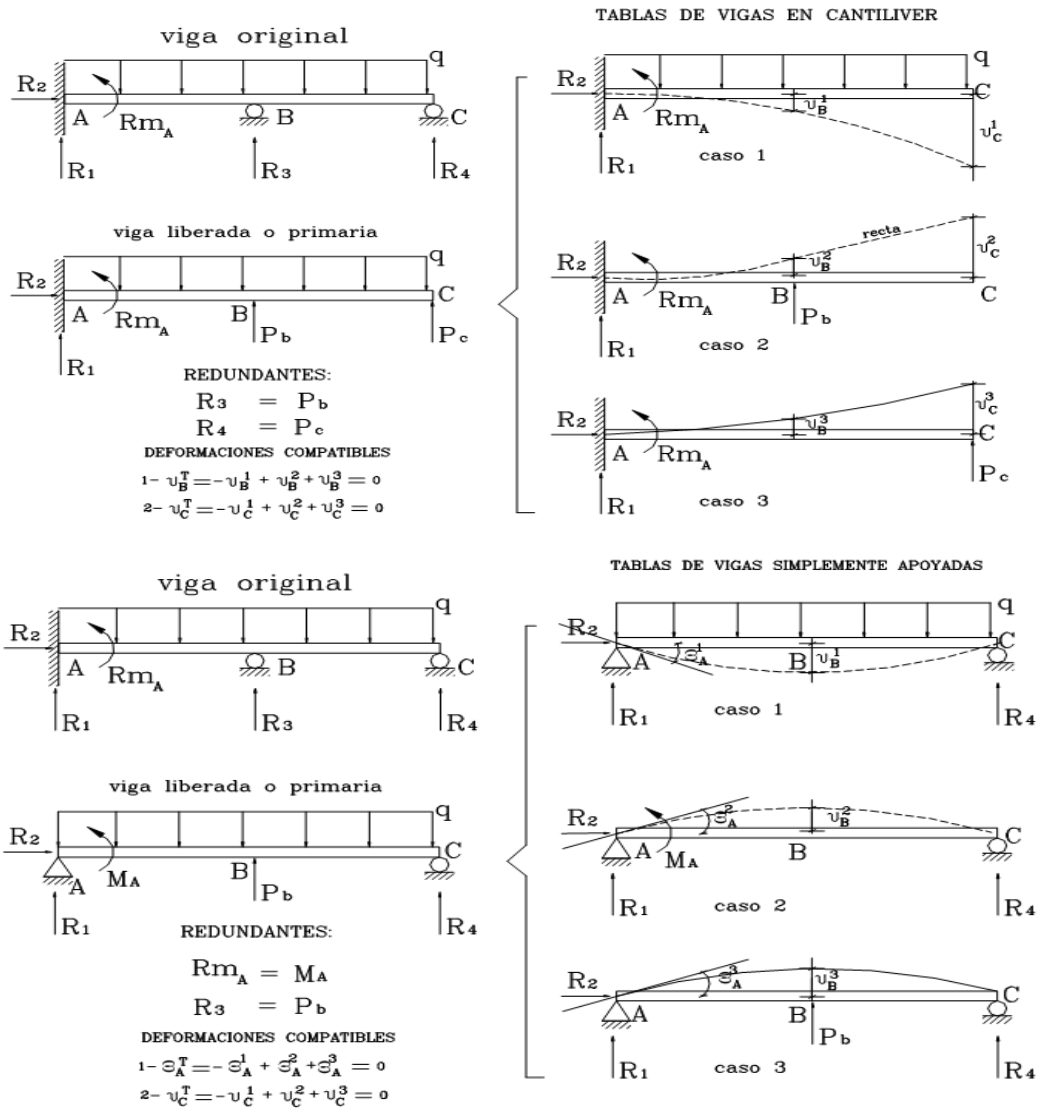


Figura 1.11.2.1.1: Aplicación del método de superposición en vigas.

1.11.2.2. Método de tres momentos.

Para este método, se toma un número cualquiera de tramos en la viga (***n***), es posible escribir ***n - 1*** ecuaciones de tal clase. Esto da suficientes ecuaciones simultáneas para la determinación de momentos redundantes sobre los apoyos. Tal fórmula (Ecu. 1.13.2.2.1) de recurrencia se llama ecuación de los tres momentos, debido a los tres momentos desconocidos que aparecen en ella y se escribe de la siguiente forma:[28]

$$\boldsymbol{M_1L_1 + 2M_2(L_1 + L_2) + M_3L_3 + \frac{6A_1a_1}{L_1} + \frac{6A_2a_2}{L_2} = 6\mathrm{El}\left(\frac{h_1}{L_1} + \frac{h_3}{L_2}\right)}$$

(Ecu. 1.11.2.2.1)

Dónde:

M_1= Momento primer apoyo.

M_2 = Momento segundo apoyo.

M_3 = Momento tercer apoyo.

h_1 = Diferencia de altura entre el primer y segundo apoyo.

h_2 = Diferencia de altura entre el segundo y tercer apoyo.

$\frac{6A_1a_1}{L_1}$ = Término de cargas primer tramo.

$\frac{6A_2a_2}{L_2}$ = Término de cargas segundo tramo.

[28] Singer y Pyter. (1982). Resistencia de materiales introducción a la mecánica de sólidos. Editorial Harla. 4° Edi. Pg.250-265.

La ecuación de tres momentos fue determinada en la suposición de momentos flectores positivos. En un problema particular, donde se tienen más de dos tramos. Un número suficiente de ecuaciones simultáneas para determinar los momentos desconocidos se obtiene imaginando sucesivamente los apoyos de tramos contiguos (véase figuras 1.11.2.2.3 Y 1.11.2.2.4).

De manera similar ocurre cuando se tiene un solo tramo, donde se agregan tramos con condiciones cero, para adaptarse a la ecuación de tres momentos.



Figura 1.11.2.2.1: Aplicación del método de tres momentos en una viga con dos poyos.

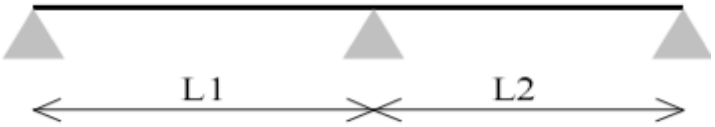


Figura 1.11.2.2.2: Aplicación del método de tres momentos en una viga con dos poyos dividida en dos tramos.

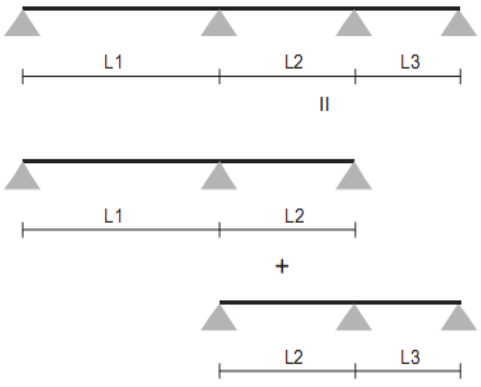


Figura 1.11.2.2.3: Aplicación del método de tres momentos en una viga con dos poyos y determinación de los tramos (Caso 1).

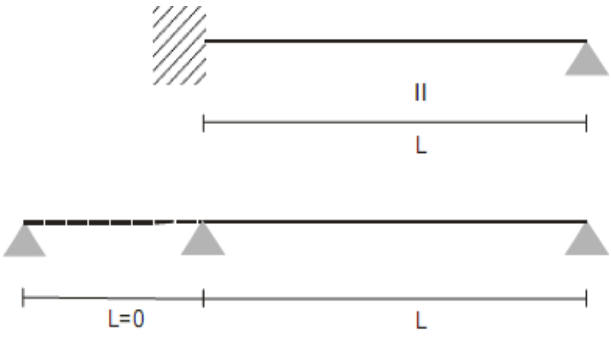


Figura 1.11.2.2.4: Aplicación del método de tres momentos en otros tipos de viga con dos poyos y determinación de los tramos (Caso 2).

1.11.2.3. Método de doble integración.

El método de doble integración [29] produce ecuaciones para la pendiente deflexión en toda la viga y permite la determinación directa del punto de máxima deflexión. Por lo tanto, es un método geométrico.

Una viga bien proyectada no solo debe ser capaz de soportar las cargas a que está sometida, sino que deberá sufrir flechas indeseablemente grandes. Primero se generan las ecuaciones de deformaciones compatibles, tantas como grado de indeterminación tenga la estructura, mediante un procedimiento similar para calcular las deformaciones en vigas isostáticas.

En este caso las condiciones de borde o de frontera cinemática encontradas, tendrá que ser igual al grado de indeterminación (G.I) más dos, para poder encontrar los valores de las dos constantes de integración C_1 y C_2:

$$N^o \text{ Condiciones de borde} = G.I + 2 \quad \text{(Ecu. 1.11.2.3.1)}$$

Con estas ecuaciones generadas por deformaciones, más las ecuaciones de equilibro respectivas, se tendrá el número suficiente para calcular todas las reacciones externas de la viga.

[29] Singer y Pyter. (1982). Resistencia de materiales introducción a la mecánica de sólidos. Editorial Harla. 4° Edi. Pg.228-234.

Ejemplo:

Calcule giro y deflexión de la siguiente viga en X = 3. Método de la doble integración y ecuaciones de momentos con funciones discontinuas.

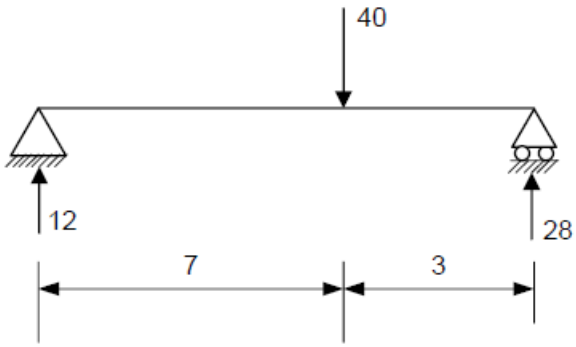


Figura 1.11.2.3.1: Viga estáticamente indeterminada.

1. Ecuación de momentos con funciones singulares y doble integración.

Ecuación de frontera	$M(x) = 12x - 40(x-7)$
Primera integración	$El\ \frac{dv}{dx} = 6x^2 - 20(x-7)^2 + C_1$
Segunda integración	$Elv = 2x^3 - 6.667(x-7)^3 + C_1x + C_2$

2. Condiciones de frontera y constantes de integración.

Condición de Frontera	Situación	Constantes
$x = 0\ \ v = 0$	$EI(0) = 2(0)^3 - 6.667(0-7)^3 + C_1(0) + C_2$	$C_2 = 0$
$x = 10\ \ v = 0$	$El(0) = 2(10)^3 - 6.667(3)^3 + C_1(10)$	$C_2 = 182$

Ecuaciones finales:

$EI\frac{dv}{dx} = 6x^2 - 20(x-7)^2 - 182$ (Ecu. 1.11.2.3.2)

$Elv = 2x^3 - 6.667(x-7)^3 - 182x$ (Ecu. 1.11.2.3.3)

Valores de giro y deflexión en X = 3

$EI\frac{dv}{dx} = 6(3)^2 - 20(3-7)^2 - 182 = -128 \rightarrow \frac{dv}{dx} = \frac{-128}{EI}$ (Ecu. 1.11.2.3.4)

$EIv = 2(3)^3 - 6.667(3-7)^3 - 182(3) = -492 \rightarrow v = \frac{-492}{EI}$ (Ecu. 1.11.2.3.5)

1.11.2.4. Método de Cross.

Este método desarrollado por Hardy Cross en 1932, el cual nos permite determinar el valor de los momentos en los nudos o apoyos de elementos hiperestáticos, como lo son las vigas empotradas, las vigas continuas, las losas y los marcos rígidos. Para esto, es necesario establecer en cada nudo, una ecuación por cada momento desconocido[30]. El método se describe a continuación:

1. Se considera que todos los nudos del entramado son absolutamente rígidos, quedando las barras totalmente incomunicadas entre ellas ya que cada una tendría en su extremo un empotramiento perfecto. Esto significa que las barras que poseen cargas, generarán en sus extremos pares de empotramiento perfecto, que deberán ser calculados para aplicar el método.
2. A continuación, se soltará nudo por nudo, de uno a la vez. dejando congelados los demás nudos y permitiendo que las barras de dicho nudo, entre las que hay continuidad, interactúen. Si en el nudo hay momentos, este girará, y dicho giro deberá ser equilibrado por las barras que concurren al nudo.
3. Cada barra que rotó, al asumir un momento, genera en su apoyo contrario un momento de respuesta, de igual sentido que el anterior y de la mitad del valor de este. Es decir, la barra asume un momento de valor “M” en el extremo que, rota, y "traspasa" al otro extremo un momento de valor M/2.

[30] Zúñiga. Isabel y Chang. Jing. (2000). METODO DE CROSS. Universidad de Chile. Facultad de arquitectura y urbanismo. Pg. 4

4. Al ejecutar los traspasos, los nudos ya equilibrados se vuelven a desequilibrar y será necesario repetir el ciclo de equilibrios y traspasos.
5. El valor del momento final en los extremos de cada barra corresponde a la suma de todos los momentos. Que ya fueron afectando en los sucesivos ciclos de equilibrios y traspasos.

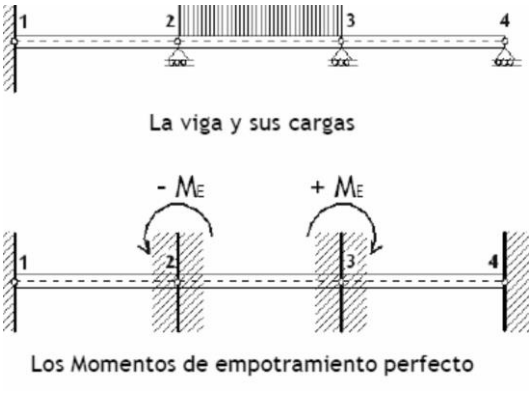


Figura 1.11.2.4.1: Aplicación del método de Cross.

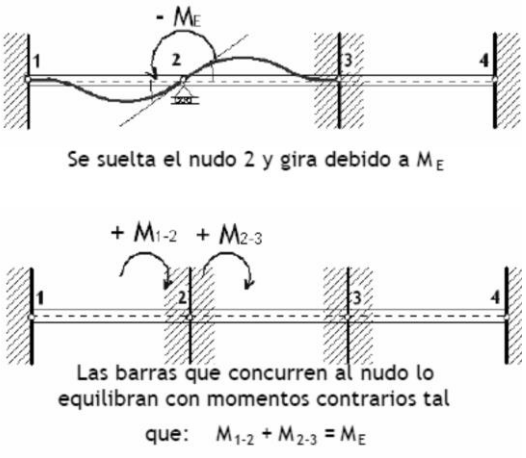


Figura 1.11.2.4.2: Aplicación del método de Cross.

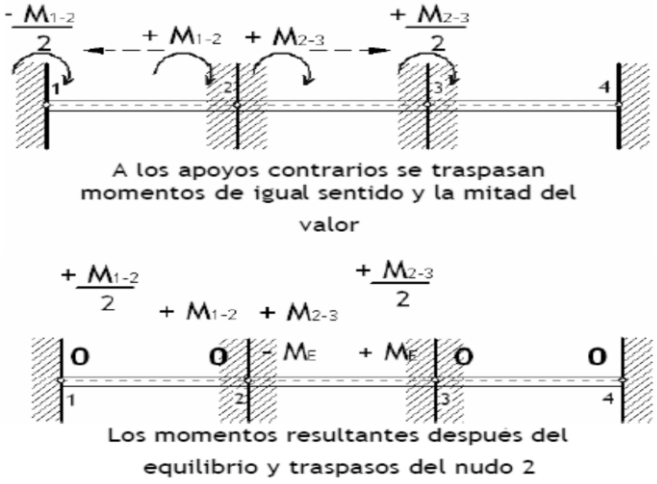


Figura 1.11.2.4.3: Aplicación del método de Cross.

Capitulo II: Diseño de estructuras metálicas.

2.1 Medios de unión de estructuras metálicas.

En la totalidad de las estructuras metálicas están formadas por diferentes elementos, o perfiles simples, que se unen entre sí para formar ese cuerpo tan resistente. Esta resistencia global solo se podrá lograr si garantizamos la correcta unión de los elementos y la transmisión correcta de esfuerzos.

Denominamos uniones, o costuras de fuerza, las que tienen por misión fundamental la transmisión de cargas de un perfil a otro, o de una barra a otra. Las uniones o costuras de simple acoplamiento son a aquellas cuya misión principal es la de mantener unidos entre si los perfiles que forman una barra compuesta. Cualquier unión es siempre un punto delicado en una estructura metálica y por ello, es necesario preverlas todas en un proyecto, no autorizando durante su ejecución más empalmes o uniones que aquellos que se especifiquen en los planos; y en los sitios definidos. Como es natural, esta recomendación es fundamental para los empalmes; ya que las uniones entre barras, dan lugar a los nudos y estos siempre deben tener una situación clara y perfectamente definida.

Los diversos tipos de unión, tanto de carácter fijo, como remaches, soldaduras y otros desmontables como los tornillos, se abordarán en este apartado enfocándonos únicamente en el tema de la soldadura, ya que dicho tema es el alma de nuestra EM que se mencionara en este capítulo. Los métodos de unión más comunes son los siguientes: [31]

1. Remachadas o Roblonado.
2. Atornillado.
3. Soldadura.

[31] Picazo. A. (2007). MEDIOS DE UNIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica – Universidad Politécnica de Madrid. Pg. 2.

2.1.1 Remachadas o Roblonado.

Un roblón es un elemento que generalmente se utiliza para unir chapas, planchuelas, perfiles, etc. Los tipos de roblones más empleados son de material de acero, aunque los hay de otros materiales como aluminio, cobre, etc. Los roblones se usan para ejecutar las uniones entre piezas metálicas. Los roblones son remaches cuyo diámetro es superior a 10 mm.

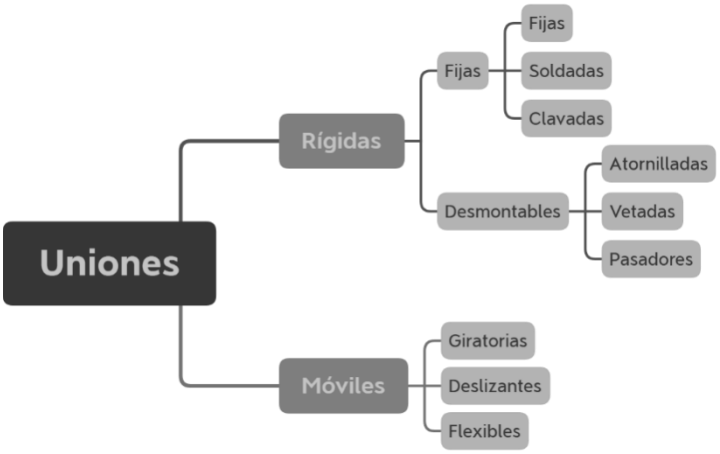


Figura 2.1.1.1: Cuadro sobre los medios de unión de estructuras metálicas.

En el roblón pueden distinguirse las siguientes partes (Fig. 2.1.1.2) el cuerpo o vástago de longitud *l* y el diámetro *d,* el cual se expande hasta un diámetro d_1, la cabeza propia de diámetro *D,* y la altura *K*, generada con un radio *R,* en ambos casos de cabeza esférica, presentando un la unión con el vástago un radio *r,* para evitar la concentración de tensiones en las aristas agudas.[32]

La forma y el tamaño del roblón dependen de las características de la unión, recibiendo distintas denominaciones según el tipo de cabeza propia que posea. Así, en las construcciones metálicas puentes, torres, edificios, etc.

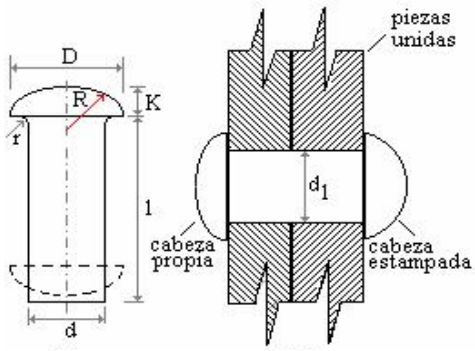


Figura 2.1.1.2: Partes de un remache de acero.

Comúnmente, los roblones de acero se dividen en tres tipos:

[32] Revista digital para profesionales de la enseñanza. N°5 – Noviembre 2009. ISNN:1989-4023.

1. Roblones de cabeza esférica o redonda.
2. Roblones de cabeza bombeada o gota de sebo.
3. Roblones de cabeza plana o perdida.



Figura 2.1.1.3: Tipos de roblones.

En general, los roblones de cabeza plana o bombeada sólo se emplean en casos excepcionales, usándose normalmente los roblones de cabeza esférica. Sólo cuando la cabeza saliente del roblón normal o esférico pudiera impedir el correcto ajuste entre los elementos de la estructura, se recomienda emplear los otros tipos de roblones (de cabeza plana o bombeada).

2.1.2 Atornillado.

Los tornillos son elementos fabricados de diferentes metales y calidades que se usan para unir piezas de metal entre sí, insertándolos a través de agujeros conocidos como barrenos; y posteriormente son sujetados de un extremo por una tuerca la cual se rosca y se aprieta de forma manual o mecánica.

Los tornillos tienen dos aplicaciones principales. Por un lado, es unir de forma no permanente dos o varios elementos, en lo que se denomina unión atornillada, por otro lado, también pueden transformar el movimiento de giro en movimiento lineal; en este caso se trata de un tornillo de transmisión de potencia.

Los tornillos estructurales pueden clasificarse de acuerdo con las siguientes características:

1. Tipo de vástago.
2. Material y resistencia.
3. Forma de la cabeza y de la tuerca
4. Tipo de cuerda.

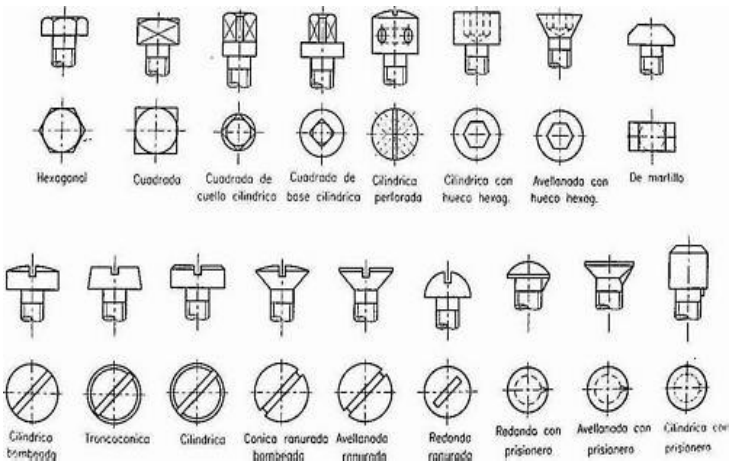


Figura 2.1.2.1: Tipos de cabeza de tornillos y rosca.

Generalmente las capacidades de los tornillos en sus diferentes presentaciones se encuentran estandarizadas, estas las podemos encontrar en tablas proporcionadas por los manuales como **IMCA** (Instituto Mexicano de la Construcción y el Acero) o **AHMSA** (Altos Hornos de México). Las normas mexicanas se basan en dichos documentos, o viceversa, por lo que las normas en las se ven implicados son las siguientes (solo se mencionan algunas): NMX-H-038-1988, NMX-H-032, NMX-H-004, NMX-H-027, NMX-H-044, NMX-H-103, NMX-H-026 y NMX-H-039.

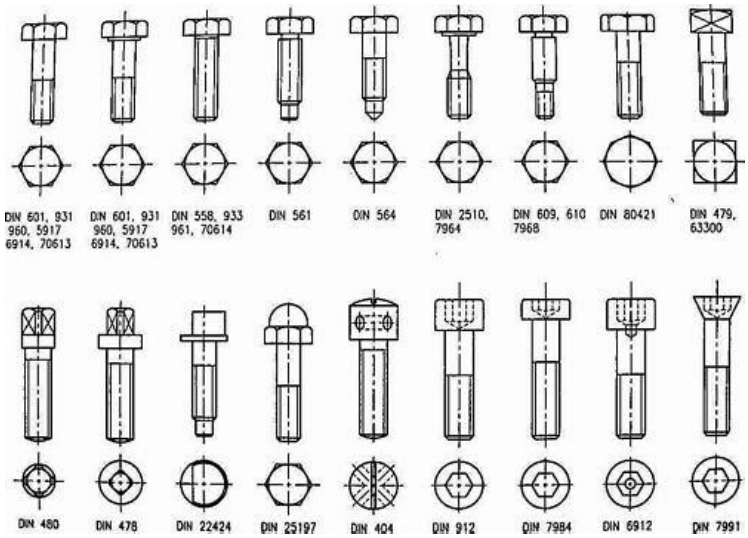


Figura 2.1.2.2: Tipos de vástago de tornillos.

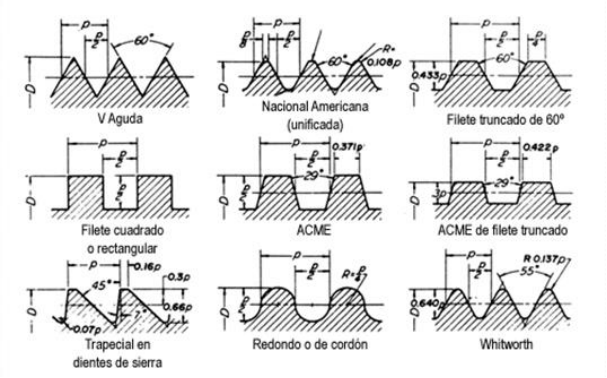


Figura 2.1.2.3: Tipos de cuerda.

2.1.3 Soldadura.

Se define a la soldadura como, un proceso por el cual se realiza la unión de partes metálicas mediante calentamiento, para alcanzar un estado plástico con o sin el aporte de un material adicional de refuerzo. La soldadura es el resultado de la operación de soldar. Las soldaduras se clasifican de acuerdo con la posición, forma y preparación de las juntas.[33]

Ventajas de la soldadura:

1. El empleo de conexiones soldadas en vez de atornilladas o remachadas permite un ahorro de material (hasta de un 15%).
2. La soldadura requiere menos trabajo y por lo tanto menos personal que la colocación de remaches o tornillos (un soldador puede reemplazar una cuadrilla de remachadores).
3. La soldadura permite una gran variedad de conexiones, cosa que no se puede con remaches o tornillos.
4. Las conexiones soldadas son más rígidas que las demás, lo cual permite una verdadera continuidad en la transmisión de elementos mecánicos entre miembros.
5. Debido a la mayor resistencia del metal de aportación las conexiones soldadas permiten una gran resistencia a la fatiga.
6. Las estructuras soldadas pueden repararse muy fácilmente a diferencia del resto.
7. Las conexiones soldadas han permitido la construcción de estructuras "limpias".
8. Las conexiones soldadas permiten ajustes de proyecto más fácilmente que en otro tipo de conexiones.
9. El trabajo de soldadura es silencioso comparado con el remachado.

[33] Altos hornos de México, AHMSA (2013). Manual de diseño para la construcción con acero. Pg. 380.

10. Hay un ahorro considerable en el cálculo, detallado y montaje de las estructuras.

Desventajas de la soldadura:

1. Las conexiones rígidas pueden no ser óptimas en el diseño.
2. La revisión de las conexiones soldadas no es muy sencilla con respecto al resto.
3. La creencia de la baja resistencia a la fatiga en conexiones soldadas (no se permite aún en algunos puentes ferroviarios U.S.A).

2.1.3.1 Proceso de soldadura.

El tipo de soldadura estructural aplicable en los procesos aprobados por las Normas son la soldadura manual con electrodo recubierto (por sus siglas en ingles SMAW), la soldadura automática de arco sumergido (SAW), la protegida con gases (GMAW) y la soldadura de electrodo con corazón de fundente (FCAW). *Los procesos que se mencionan en este apartado son referentes a la soldadura manual con electrodo recubierto, ya que dicha investigación se basó en la utilización de dicha herramienta para la elaboración de una estructura.* Para más información pueden consultar el manual de soldadura de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) que da una descripción detallada de todos los procesos.

2.1.3.2. Soldadura manual con electrodo recubierto (SMAW).

El proceso de soldadura por arco eléctrico se forma al polarizar el metal base negativamente y el electrodo positivamente, al acercar el electrodo se forma el arco eléctrico localizado en las zonas más próximas donde el metal base alcanza temperaturas de 3,000 a 6,000ºC que derriten también el acero del electrodo debido al campo electromagnético formado, el metal de aporte es forzado a depositarse en el metal base, por lo que es posible realizar soldaduras contra la gravedad, a su vez el recubrimiento del electrodo formado por minerales inertes se funde y alcanza la superficie del material líquido, que al enfriarse forma una costra protectora de la soldadura mientras se enfría. El gas que se desprende durante proceso es debido al recubrimiento, que forma una barrera protectora en el depósito del metal para evitar que se mezcle con aire y quede porosa la soldadura. Una vez enfriado el cordón, es necesario retirar la "cáscara", para revisar que todo este correcto o bien para aplicar un siguiente cordón.

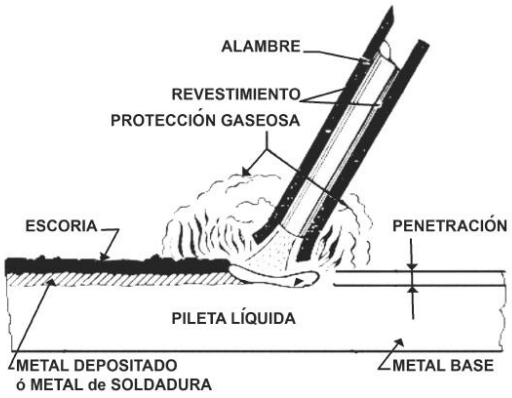


Figura 2.1.3.2.1: Proceso de soldadura por arco eléctrico.

Defectos de la soldadura:

1. Falta de penetración: Originada porque la unión entre el metal base y el de aportación no es perfecta en algún punto o zona, quedando alguna irregularidad dentro de la zona de material de aportación. Puede producirse por excesivo espesor, incorrecta preparación de los bordes, electrodos inadecuados, mal proceso de ejecución, etc.
2. Falta de fusión: Originada porque las superficies que se soldán no están limpias (tienen restos de otra capa de protección, grasa, aceite, etc.)

3. Poros y oclusiones: Debida a inclusiones de pequeñas bolsas de gas en el metal depositado por el electrodo, ocasionada por utilizar una técnica inadecuada en cuanto a amperaje o longitud de arco excesiva.
4. Inclusiones de escoria. Procedente de óxidos metálicos, o por restos de soldaduras de enfriamiento rápido.
5. Grietas: Procedentes de fisuras internas o externas, debidas a tensiones residuales o esfuerzos mecánicos, y son debidas fundamentalmente a la mala calidad del electrodo utilizado.[34]

Nota: En el anexo 2 encontrara más información detallada sobres los defectos de la soldadura.

2.1.3.3 Tipos de soldadura.

Por el tipo de soldadura. [35]

1. Soldaduras de filete: Se obtienen depositando un cordón de metal de aportación en el ángulo diedro (ángulo formado por dos piezas). Su sección transversal es aproximadamente triangular. Sirve para unir dos piezas no alineadas entre sí, y es un caso muy común en la conexión de miembros estructurales, ya que se emplea en un 80 % de los casos.

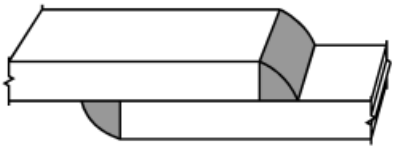


Figura 2.1.3.3.1: Soldadura de filete.

2. Soldaduras de penetración. Se obtienen depositando metal de aportación entre dos placas que pueden, o no, estar alineadas en un mismo plano. Pueden ser de penetración completa o parcial, de acuerdo con la fusión de la soldadura y

[34] Urbán. Pascual. (2009). Construcción de estructuras metálicas. Editorial Club universitario. 4°Edi. Pg. 50

[35] Las disposiciones de las Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de acero, pueden ser complementadas por las versiones vigentes de los siguientes documentos de referencia: AC1, AISC, ASCE, AWS, IMCA y RCSC. El significado de las abreviaturas se muestra en el anexo 1.

que el metal base abarque todo o parte del espesor de las placas, o de la más delgada de ellas.

2.1 Penetración completa: Es cuando la soldadura atraviesa todo el espesor de las placas. Esta soldadura se prefiere cuando las placas o elementos planos deben quedar en el mismo plano. Son aproximadamente el 15 % de las estructuras metálicas.

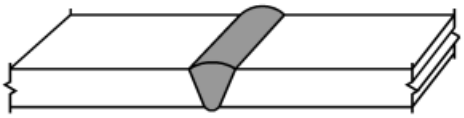


Figura 2.1.3.3.2: Soldadura de penetración completa.

2.2 Penetración parcial: Es lo opuesto a la de penetración completa, ya que es cuando la soldadura no penetra totalmente las placas, o cuando una placa es más delgada que la otra.

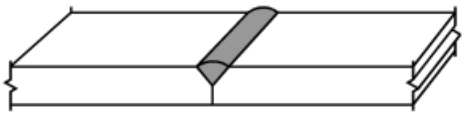


Figura 2.1.3.3.3: Soldadura de penetración parcial.

3. Soldaduras de tapón y de ranura: Las soldaduras de tapón y de ranura se hacen en placas traslapadas, rellenando por completo, con metal de aportación un agujero circular (tapón) o alargado (ranura), hecho en una de ellas y teniendo como fondo la otra placa. Se emplean cuando la longitud de filete no es suficiente para proporcionar toda la resistencia de la conexión. Forman aproximadamente el 5 % de las estructuras metálicas.

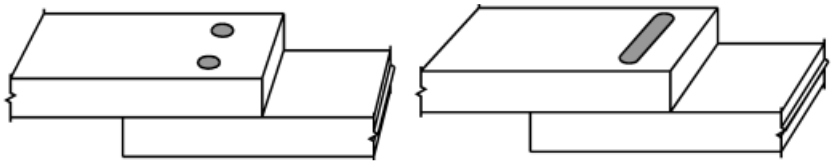


Figura 2.1.3.3.4: Soldadura de tapón(izquierda) y de ranura(derecha).

Nota: En el anexo numero 2 encontraras más información sobre las representaciones de los tipos de soldadura en diagramas.

2.1.3.4 Tipos de uniones y cordones.

Por la posición de las piezas a unir, las uniones soldadas pueden ser a tope, en T (en cruz) o a solape. Los cordones de soldadura se dividen en cordones en ángulo y cordones a penetración.

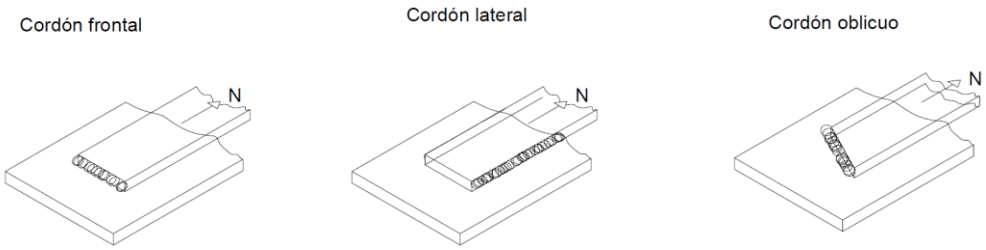


Figura 2.1.3.4.1: Diferentes cordones de soldadura.

En las uniones a solape, los cordones en ángulo se denominan laterales cuando son paralelos a la dirección del esfuerzo que transmiten, frontales cuando son normales a dicho esfuerzo y oblicuos en casos intermedios. En cualquier caso, pueden ser continuos o discontinuos. Los cordones a tope pueden ser de penetración completa o de penetración parcial.

Los cordones en ángulo pueden usarse para unir piezas en T, o a solape cuyas caras a fundir formen ángulos comprendidos entre 60º a 120º y serán de penetración total. Si el ángulo está comprendido entre 45º a 60º, el cordón se considerará de penetración parcial. Si el ángulo es superior a 120º o inferior a 45º, el cordón se considerará de simple atado y sin capacidad para resistir esfuerzos.[36]

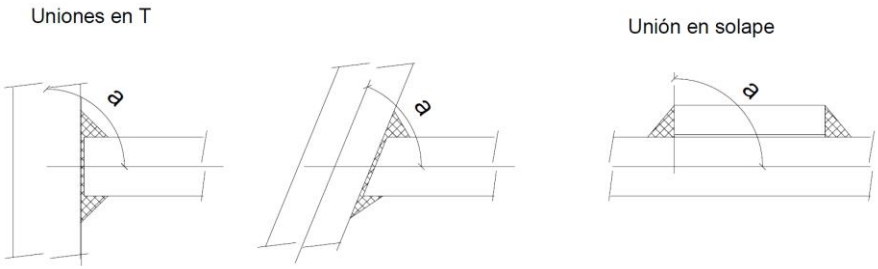


Figura 2.1.3.4.2: Diferentes uniones de soldadura.

[36] Urbán. Pascual. (2009). Construcción de estructuras metálicas. Editorial Club universitario. 4°Edi. Pg.35

2.1.3.5 Tipos de electrodos.

El núcleo del electrodo cubierto consiste en una varilla de metal sólida de material colado, o bien una varilla fabricada encerrando metal en polvo en una funda metálica. La varilla del núcleo conduce la corriente eléctrica al arco y suministra metal de aporte en la unión. Las funciones principales de la cobertura del electrodo son estabilizar el arco y proteger al metal derretido, de la atmósfera por medio de los gases que se crean cuando el recubrimiento se descompone por el calor del arco. La composición de la cobertura del electrodo varía dependiendo del tipo de electrodo.

Tipos de electrodos:

1. Celulósicos
2. Rutílicos
3. Básicos / Bajo Hidrogeno
4. Para combatir el desgaste
5. Aceros inoxidables
6. Fundición de Hierro
7. Bronce
8. Cobre
9. Aluminio
10. Corte

Ventajas:

1. Bajo nivel de inversión.
2. Proceso simple, flexible y portable.
3. Acceso a juntas en lugares difíciles de llegada.
4. Uso en exteriores, al aire libre.
5. Capacidad de soldar la mayoría de los metales ferrosos y no ferrosos.

2.1.3.6 Selección correcta de electrodos para soldadura por arco electrico.

Existen siete factores fundamentales en la selección de electrodos para soldadura por arco eléctrico, los cuales son los siguientes:

1. Identificación del metal base.
2. Tipo de corriente disponible para la soldadura, o sea, si se cuenta concorriente alterna o continua para la operación.
3. Posición en la cual debe efectuarse la soldadura.
4. Espesor y forma del metal base.
5. Diseño de la junta.
6. Especificaciones o condiciones de servicio requeridas para el trabajo.
7. Eficiencia y rapidez requerida en la operación.

Una vez selecionado el electrodo de acuerdo a los criterios anteriores, es necesario seleccionar la corriente (amperaje) con la cual va a trabajarse según el diámetro del mismo. Si la corriente de operación es directa o continua, debe usarse la polaridad recomendada por el fabricante para ese electrodo, con el objeto de obtener mejores resultados. A pesar de que los distintos tipos de electrodos, para las varias aplicaciones poseen diferentes características de operación, hay algunas reglas generales implícitas que se aplican sin excepción a todos los tipos de electrodos revestidos.[37]

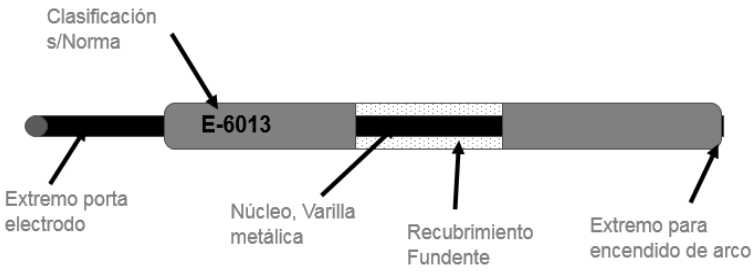


Figura 2.1.3.6.1: Partes de un electrodo.

[37] ESAB, líder mundial en la producción de equipos de soldadura, corte y productos consumibles.

La **A.W.S.** (Sociedad Americana de Soldadura) y la **A.S.M.E.** (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), reconocidas como autoridades dentro del renglón de la soldadura, dictan normas de clasificación de electrodos. Para una información sencilla y a la vez concreta de acuerdo a las propiedades de cada electrodo, la A.W.S. y la A.S.M.E., han establecido la nomenclatura usada en los electrodos.

2.1.3.6.1 Nomenclatura de un electrodo de acuerdo A.W.S. y A.S.M.E.[38]

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 o 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 (ver figura 2.1.3.6.1.1 y 2.1.3.6.1.2). *Ejemplos en el anexo 2.*

Cifra	Significado	Ejemplo
Las 2 o 3 primeras	Mínima resistencia a la tracción	E60XX = 60,000 lb/pulg^2
Penúltima	Posición de soldadura	- EXX1X = Todas posiciones - EXX2X = Plana y horizontal - EXX4X = P, H, VD, SC
Ultima	- Tipo de corriente - Tipo de escoria - Tipo de arco - Penetración - Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	Ver tabla 2.1.3.6.3
Nota: El prefijo "E" significa electrodo para soldadura por arco.		

Figura 2.1.3.6.1.1: Sistema A. W. S. Para clasificación de electrodos.

En los electrodos de acero aleado las 4 o 5 cifras de la clasificación van seguidas generalmente de una letra símbolo como: A1, B1, B2, etc. Estos sufijos, son el estándar de la A.W.S. que son añadidos para indicar adiciones específicas de elementos de aleación, como se indica en la figura 2.1.3.6.1.3. Por ejemplo, un electrodo revestido para soldadura al arco que tenga una clasificación E701 5-A1,

[38] INFRA. MANUAL DE ELECTRODOS PARA SOLDAR. Pg. 3-6

es un bajo hidrógeno para todas las posiciones, corriente directa polaridad invertida electrodo con un contenido de Molibdeno entre 0.40 a 0.65% (promedio 0.50%).

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 e- Polaridad directa	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	c Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
a – E – 6010 C.D.P.I c – E – 6010 PROFUNDA, E – 6020 MEDIA b – E – 6010 ORGANICO, E – 6020 C.A Y C.D.P.I									

Figura 2.1.3.6.1.2: Interpretación de la última cifra en la clasificación A. W. S. Para clasificación de electrodos.

Electrodo	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
7010 A1	0.12	0.6	0.4	0.03	0.03		0.4 – 0.65
7018 A1	0.12	0.6	0.8	0.03	0.03		0.4 – 0.65
9016 B3	0.05 – 0.12	0.9	0.6	0.03	0.03	2.0 – 2.50	0.9 – 1.20
9018 B3	0.05 – 0.12	0.9	0.8	0.03	0.03	2.0 – 2.50	0.9 – 1.20
A: Electrodos para aceros de Carbono – Molibdeno B: Electrodos para aceros de Cromo – Molibdeno C: Electrodos para aceros de Níquel D: Electrodos para aceros de Manganeso – Molibdeno NM: Electrodos para aceros de Níquel – Molibdeno G: Electrodos generales de aceros de baja aleación M: Electrodos similares a las especificaciones militares P1: Electrodos para líneas de tubería de petróleo y derivados W: Electrodos para aceros climatológicos							

Figura 2.1.3.6.1.3: Designación A.W.S. de los más importantes elementos de aleación en los electrodos para soldadura de arco.

2.1.3.7 Sistemas de inspección de soldadura.

Para controlar la ejecución de las soldaduras, existen diversos sistemas, que se mencionan continuación; no obstante, es conveniente efectuar una inspección ocular previa al inicio de las labores de soldadura. [39]

1. Inspección visual: Inspeccionar los materiales que se pretende unir, asegurándose así de que cumplen con la calidad requerida, no llevan óxidos, laminaciones, etc. De acuerdo a las instrucciones del fabricante.
2. Inspección por líquidos penetrantes: Es un ensayo no destructivo en el cual es posible detectar discontinuidades que afloran en los sólidos no porosos. Se aplica un líquido que penetra por capilaridad en las discontinuidades, una vez eliminado el exceso de éste, el retenido exuda y con la ayuda de un revelador podemos observarlo en la superficie de la pieza. Los fluorescentes incorporan pigmentos que permiten que el líquido emita una fluorescencia muy intensa cuando se ilumina con luz negra.
3. Inspección por partículas magnéticas: Es un ensayo no destructivo que se emplea en materiales ferromagnéticos permitiendo detectar grietas y otras discontinuidades. La sensibilidad es muy buena éstas alcanzan profundidades de 5mm o más. El proceso se basa en la creación de campos magnéticos en la dirección e intensidad previstos por medio de imanes, a continuación, se aplican las partículas magnéticas, se avalúan los resultados y finalmente se procede a la desmagnetización.
4. Inspección radiográfica: Es la más utilizada. Este ensayo consigue una imagen nítida y establece los defectos que puedan existir en la soldadura. Los rayos X y los Y son radiaciones electromagnéticas al igual que la luz visible. Cuando la radiación atraviesa una soldadura, la absorción depende del espesor y la naturaleza del material, así como del tipo y la longitud de onda de la radiación. Una vez que la radiación ha atravesado la unión

[39] Urbán. Pascual. (2009). Construcción de estructuras metálicas. Editorial Club universitario. 4°Edi. Pg. 52

soldada es capaz de impresionar una partícula radiográfica. Los resultados se clasifican en grados del 1 al 5, siendo 1 una soldadura perfecta y 5 una soldadura pésima.

5. Inspección por ultrasonidos: El método consiste la propagación del sonido. Al comunicar una presión determinada al primer plano de partículas comunicará la energía recibida a las partículas siguientes. Se producirá una oscilación que tendrá la misma frecuencia y amplitud que la presión ejercida desde el exterior, debido a que el medio es un cuerpo elástico, se requiere un determinado tiempo para permitir la propagación de la presión ejercida, por lo que en planos sucesivos se produce un retraso en su movimiento. En la respuesta de una chapa a las ondas transversales se producirá una propagación de ondas, una reflexión en el borde, barrido de la sección transversal y determinación de la situación de un defecto.

2.1.3.8 Herramienta necesarias para la aplicación de soldadura por arco.

1. Fuente de potencia: Se puede usar corriente alterna (CA) o bien continua (CC) para la soldadura por arco de metal protegido, dependiendo de la corriente suministrada por la “planta” y del electrodo escogido.
2. Porta electrodos: El porta electrodos es un dispositivo de sujeción que permite al soldador sostener y controlar el electrodo. También sirve como un medio para conducir la corriente de soldadura del cable al electrodo.
3. Conexión con la pieza de trabajo: La conexión con la pieza de trabajo es un dispositivo para conectar el cable de pieza de trabajo a ésta.
4. Cables para soldadura: Los cables para soldadura sirven para conectar el porta electrodos y las abrazaderas de tierra a la fuente de potencia; son parte del circuito de soldadura. La funda se fabrica con hule sintético o un plástico que tenga buena tenacidad, elevada resistencia eléctrica y buena resistencia térmica.

5. Equipo de protección: El propósito de proteger los ojos, el rostro, la frente, el cuello y las orejas del soldador de los rayos directos del arco, así como de chispas y salpicaduras que salen despedidas.
6. Equipo diverso: Para la limpieza al soldar es importante. El soldador debe contar con un cepillo de alambre de acero, un martillo, un cincel y un mazo para descascarar.

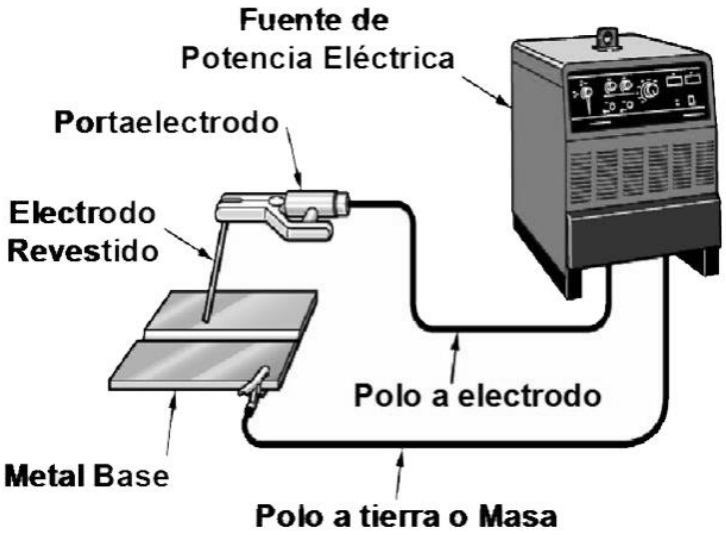


Figura 2.1.3.8.1: Equipo para la soldadura por arco eléctrico.

2.1.3.9 Equipo de protección en soldadura por arco eléctrico.

En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen las reglas. Siempre se deberá utilizar el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. [40]

El equipo consiste en:

1. Máscara de soldar: Protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactínicos de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
2. Guantes de cuero: Tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.

[40] INDURA. Manual de soldadura sistemas por arco. Pg. 3

3. Coleto o delantal de cuero: Para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioletas del arco.
4. Polainas y casaca de cuero: Cuando es necesario hacer soldadura en posiciones verticales y sobre cabeza, deben usarse estos aditamentos, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.
5. Zapatos de seguridad: Que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
6. Gorro: Protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en posiciones.

Observación: Evitar tener en los bolsillos todo material inflamable como fósforos, encendedores o papel celofán. No use ropa de material sintético, o de algodón.

2.2 Selección de materiales estructurales.

El análisis del acero como material estructural, es muy importante ya que nos permite concentrarnos en las características que son más importantes para el diseño estructural. Además de las propiedades mecánicas, tales como el esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión, es esencial considerar la ductilidad o resistencia a la fractura, así como la composición química, la metalurgia o soldabilidad. Al mismo tiempo, es importante tener en cuenta la fabricación, los requisitos para la compra del material y las aplicaciones de campo.

Al día de hoy, en el mercado existe una gran disponibilidad, de grados de acero, lo que es fundamental para una selección correcta, además se tiene la certeza que el acero cumplirá con los requerimientos de los estados de servició y los límites de falla.

2.2.1 Propiedades fundamentales del acero estructural.

El acero se caracteriza por sus propiedades metalúrgicas, químicas y mecánicas. Hay una gran variedad de aceros. **Para México, la NMX-B-252**[41]**, equivalente a la ASTM**[42] **A6** (especificación estándar para barras, planchas, perfiles y tablestacas laminados de acero estructural), aunque ésta última es la más utilizada y da una lista de todos los grados que pertenecen a esta clasificación.

CORRELACION DE LAS NMX Y ASTM DE ACEROS ESTRUCTURALES

Nomenclatura		Fy(3)		Fu(4)	
NMX(1)	ASTM(2)	MPa	Kg/cm²	MPa	Kg/cm²
B - 254	A 36	250	2,530	400 - 550	4,080 – 5,620
	A 529	345	3,515	485	4,950
		380	3,880	485	4,950
B - 282	A 242	320	3,235	460	4,710
		345	3,315	485	4,920
		290	2,950	414	4,220
B - 284	A 572	345	3,515	450	4,570
		414	4,220	515	5,270
		450	4,570	550	5,620
	A 992	345	3,515	450 – 620	4,570 – 6,330
B - 177	A 53	240	2,460	414	4,220
B - 199	A 500(5)	320	3,235	430	4,360
B - 200	A 501	250	2,530	400	4,080
	A 588(6)	345	3,515	483	4,920
	A 709	250	2,550	400	40,80
		345	3,515	450	4,590
		485	4,950	585	5,965
		690	7,036	585	7,750
		620	6,322	690	7,040
	A 913(7)	345 - 483	3,515 – 4,920	448 - 620	4,750 – 6,330

(1) Norma Mexicana
(2) American Society for Testing and Materials
(3) Valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del material
(4) Esfuerzo mínimo especificado de ruptura en tensión. Cuando se indican dos valores, el segundo es el máximo admisible
(5) ASTM especifica varios grados de acero A 500, para tubos circulares y rectangulares
(6) Para perfiles estructurales; placas y barras ASTM especifica varios valores, que dependen del grueso del material
(7) Depende del grado; ASTM especifica grados 50, 60, 65 y 70

Figura 2.2.1.1: Relaciones de la norma ASTM y NMX.

2.2.1.1 Propiedades mecánicas.

Las propiedades más importantes de la prueba de tensión son el esfuerzo de fluencia (F_y), la resistencia a la tracción (F_u), las tensiones en la ruptura, la deformación unitaria (ε_u), la deformación total (ε_{st}), la reducción del área, y la relación F_y/F_u. La curva de esfuerzo-deformación para el acero difiere significativamente entre aceros templados (carbono-manganeso), aceros de alta

[41] "Requisitos generales para planchas, perfiles, tablaestacas y barras, de acero laminado para uso estructural".

[42] Siglas en inglés, American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales. Esta asociación radicada en Estados Unidos se encarga de probar la resistencia de los materiales para la construcción de bienes.

resistencia y baja aleación (HSLA).[43] Las figuras 2.2.1.1.1 y 2.2.1.1.2 muestran ejemplos representativos de dichas curvas, en la figura 2.2.1.1.3 se muestra las curvas esfuerzo deformación completas para una selección de aceros de calidad estructural producidos en E.E. U.U y México. El módulo de esfuerzo por deformación (ε_{st}), es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a 29 Ksi[44] (199.9479 MPa). ε_{st}, es más bajo y está bien definido, su valor es de alrededor de 600 a 800 Ksi (4.13 - 5.51 GPa). Las figuras 2.2.1.1.1 y 2.2.1.1.2 muestran el esfuerzo de tensión y el alargamiento en la ruptura, que son los parámetros clave para el acero estructural.

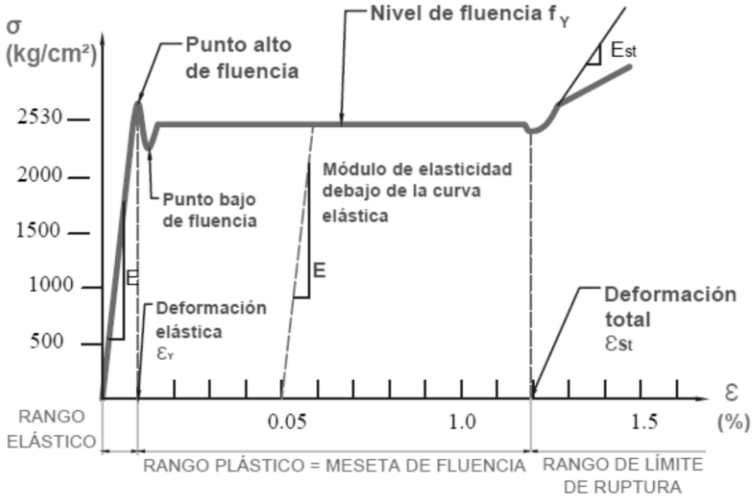


Figura 2.2.1.1.1: Curva esfuerzo – deformación para aceros de bajo contenido de carbono.

El calor de la soldadura y el oxicorte provoca cambios locales en la estructura del acero, a menos que la entrada de calor y la velocidad de enfriamiento sean cuidadosamente controladas.

Generalmente esto resulta en zonas muy localizadas

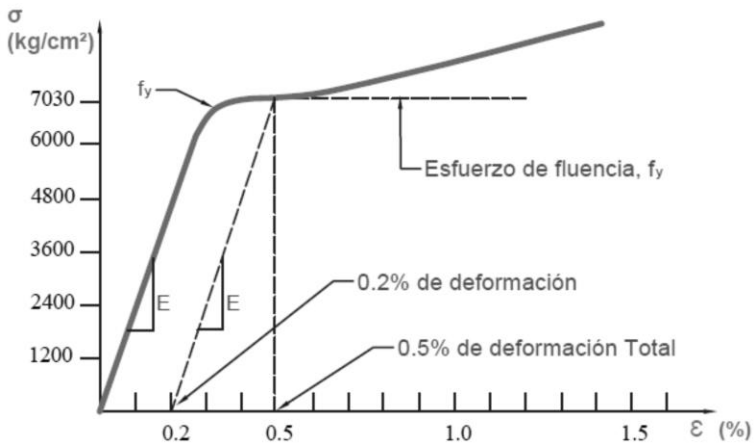


Figura 2.2.1.1.2: Curva esfuerzo – deformación para aceros de alto contenido de carbono.

[43] Cházaro y Álvarez. Elección del tipo de acero para estructuras. Editorial GERDAU. Pg. 7

[44] Por sus siglas en inglés “KiloPound per Square Inch” Kilo-libras por pulgada cuadrada (Kip/in^2)

del material en aceros de alta resistencia y baja ductilidad, como en los bordes de corte por flama (oxicorte) o el calor de la soldadura. Para todos los propósitos prácticos, estas zonas han aumentado los límites de fluencia en aproximadamente igual a la fuerza o la resistencia nominal del metal de la soldadura.

Las piezas gruesas de acero tienden a ser más frágiles que las delgadas; algunas de las razones de esto son que los núcleos de perfiles gruesos están sometidos a un menor laminado, poseen mayor contenido de carbono y tienen mayores esfuerzos de tensión por el enfriamiento (esfuerzos residuales).

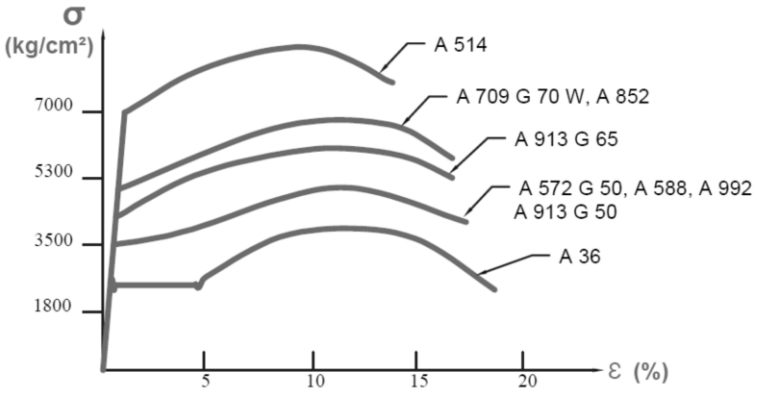


Figura 2.2.1.1.3: Curva esfuerzo – deformación para algunos aceros.

2.2.1.2 Propiedades químicas.

Hoy en día, el método principal de producción de acero, para todos los perfiles y la mayoría de los productos de acero, se basa en la colada continua. Además, debido a la eficiencia de la producción, los hornos de arco eléctrico son ahora más frecuentes.[45] Esto ha llevado al acero que se produce principalmente a partir de chatarra, en lugar de lingotes de hierro. La selección de los componentes químicos de cada acero, son lo que definen a cada uno de los distintos tipos de acero, por lo que a continuación se describen los principales componentes del acero estructural en general:

1. Azufre (S): Es extremadamente perjudicial, afecta a la ductilidad en especial a la flexión transversal y reduce la soldabilidad.

[45] Cházaro y Álvarez. Elección del tipo de acero para estructuras. Editorial GERDAU. Pg. 12

2. Carbono (C): A mayor contenido, mayor resistencia, perjudica sensiblemente a la ductilidad en especial el doblado.
3. Cobre (Cu): La adición de cobre de hasta el 0.35%, aumenta considerablemente la resistencia a la corrosión atmosférica de los aceros, también aumenta la resistencia a la fatiga.
4. Cromo (Cr): Aumenta la resistencia mecánica a la abrasión y a la corrosión atmosférica, pero, reduce la soldabilidad.
5. Fósforo (P): Aumenta el límite de resistencia, favorece la resistencia a la corrosión y a la dureza, pero perjudica la ductilidad y soldabilidad.
6. Manganeso (Mn): Es usado prácticamente en todos los aceros estructurales, el aumento de su contenido asegura el aumento de su resistencia mecánica, perjudica la soldabilidad, pero es menos perjudicial que el carbono, afecta poco a la ductilidad.
7. Molibdeno (Mo): Aumenta el límite de fluencia y la resistencia a la corrosión atmosférica, mejora la soldabilidad y el comportamiento del acero a altas temperaturas.
8. Niobio (Nb): En poca cantidad aumenta considerablemente el límite de resistencia y el límite de fluencia, no ataca a la soldabilidad y permite disminuir el contenido de carbono y manganeso, es favorable a la ductilidad.
9. Níquel (Ni): Aumenta la resistencia mecánica, la tenacidad, y la resistencia a la corrosión, pero reduce la soldabilidad.
10. Silicio (Si): Como desoxidante del acero, favorece sensiblemente a la resistencia, pero reduce la soldabilidad.
11. Titanio (Ti): Aumenta el límite de resistencia, la resistencia a la abrasión y mejora el desempeño del acero a temperaturas elevadas, también se utiliza para inhibir el envejecimiento precoz.
12. Vanadio (V): Aumenta el límite de resistencia sin perjudicar la soldabilidad y la tenacidad.

2.2.1.3 Clasificación de los aceros estructurales.

Los principales tipos de acero estructural se clasifican según su composición química y características de procesamiento[46] de los cuales tenemos:

1. Aceros al carbono o aceros al carbono-manganeso: También conocidos como aceros estructurales. Además de hierro, los elementos químicos principales son el carbono y manganeso. Entre los aceros más comunes de este grupo es el **A 36,** con un esfuerzo mínimo de 36 Ksi (248 MPa).
2. Alta resistencia, baja aleación (HSLA): Son los materiales más utilizados para las estructuras de acero en la actualidad. La mayor resistencia se consigue mediante la reducción del contenido de carbono y la adición de ciertos elementos de aleación. Todos estos aceros son soldables y algunos han aumentado la resistencia a la corrosión. Los más comunes son ASTM A 992, A 572 y A 588, con un límite elástico mínimo de 50 Ksi (344 MPa), aunque el A 572 y A 588 están disponibles también en otras resistencias.
3. Alta resistencia, apagados y templados (QT) aceros aleados: Constituyen un pequeño grupo de materiales con fluencia mínima de 90 a 100 Ksi. Estos sólo están disponibles como placas. La alta resistencia se consigue a través de una combinación de bajo contenido en carbono y una secuencia de enfriamiento rápido (es decir revenido) del acero, dejando al material con una estructura muy dura, de grano fino. La ductilidad de estos aceros es significativamente menor que la del carbono-manganeso y aceros HSLA.
4. Alta resistencia, apagados y autotemplados (QST), aceros de aleación: Están actualmente en disponibilidad limitada. Su alta resistencia se obtiene a través de enfriamiento selectivo de determinadas regiones de un perfil, pero, además, el calor que se almacena en el material del procedimiento de rolado es utilizado para proporcionar el efecto de templado. El enfriamiento

[46] Cházaro y Álvarez. Elección del tipo de acero para estructuras. Editorial GERDAU. Pg. 11

localizado deja un producto con una superficie distinta, por lo que el material en su superficie tiende a ser mucho más duro y de grano más fino.

2.2.1.4 Soldabilidad del acero.

Los procesos de soldadura actualmente disponibles son: manual, semiautomático y automático (ver apartado 2.1.3.1). Es vital que el acero tenga una composición química, que garantice la fusión del metal base con el metal del electrodo sin la formación de grietas o imperfecciones similares. Esta característica se conoce como la soldabilidad del acero.[47]

Todos los aceros estructurales disponibles en la actualidad son soldables. Sin embargo, para la rehabilitación estructural y/o con fines de adaptación, es importante para el diseñador y el fabricante determinar si el material es adecuado para la soldadura.

La medida más común de la soldabilidad es el contenido de carbono, concentración de carbono o carbono equivalente (CE). El CE también se utiliza para evaluar las necesidades de precalentamiento para la unión soldada o de ensamble, y hay que tener en cuenta la influencia de hidrógeno y su retención conjunta. Están disponibles varias fórmulas para el CE, algunas de éstas son adecuadas para los aceros estructurales según lo indicado por las ecuaciones A y B. Estas expresiones son empíricas, basados en las pruebas del acero dentro de ciertos rangos de composición química. Los números que se introducen son el contenido de elementos químicos en por ciento.

$$\boldsymbol{A)\ CE\ =\ C\ +\ \frac{(Mn+Si)}{6}+\ \frac{(Cr+Mo+Cb+V)}{5}\ +\ \frac{(Ni+Cu)}{15}} \quad \text{(Ecu. 2.2.1.4.1)}$$

$$\boldsymbol{B)\ CE\ =\ C\ +\ \frac{Mn}{6}+\ \frac{6(Cr+Mo+V)}{5}\ +\ \frac{(Ni+Cu)}{15}} \quad \text{(Ecu. 2.2.1.4.2)}$$

[47] Cházaro y Álvarez. Elección del tipo de acero para estructuras. Editorial GERDAU. Pg. 12-13

(A) Para aceros ASTM A 36, A 529 y G 50, debe ser menor a 0.55%

(B) Para aceros ASTM A 992, A 572, G 50, A 572 y G 60 debe ser menor a 0.47%

Para el CE de la ecuación A, la soldabilidad se considera aceptable si el CE es inferior a 0.55% aproximadamente. Esta ecuación se utiliza para el acero ASTM A 529 y en el código de soldadura estructural AWS. La ecuación B, es propuesta por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW). Un equivalente de carbono es considerado como una buena medida de la dureza del acero; y la soldabilidad es buena si el CE es de 0.47%

2.2.1.5. Propiedades del acero ASTM A 36.

El acero estructural A 36 o acero estructural con carbono, es hasta hace poco tiempo, el acero estructural básico utilizado más comúnmente en construcciones de edificios y puentes. Es fabricado con un punto mínimo de cedencia de 36 Ksi más resistente que la placa A 283, la placa de acero - calidad estructural A 36 es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras con equipo menos pesado.

El acero estructural A 36 tiene buena soldabilidad, generalmente se lamina en caliente en acero rectangular, acero cuadrado, acero redondo, placa de acero y también se hace comúnmente en todo tipo de secciones de acero, como vigas H, vigas I, canal U, ángulo de acero, tubo de acero, etc. A menudo se compara con AISI 1018 laminado en frio debido a su composición química similar. [48]

[48] ASTM, (1998). Especificación para el acero estructural designación: A 36/A 36M - 97ª. Libro de estándares de ASTM Vol. 01.04.

2.2.1.5.1 Propiedades mecánicas.

Acero al carbono estructural (ASTM A 36) conocido como hierro negro, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas. Pose las siguientes características mecánicas generales, cabe recalcar que estos valores son un promedio de los cuales se espera que cumpla dicho material, en algunos casos pueden ser más/menos de los valores aquí mostrados.

1. Esfuerzo a la fluencia mínimo: 36 Ksi (250 MPa o 36,000 Psi).
2. Esfuerzo a la tensión: 50 – 79.7 Ksi (400 – 550 MPa o 58,000 – 79,800 Psi).
3. Elongación mínima en 50 mm (2”).
4. Módulo de elasticidad: 29,000 Ksi (200 GPa o 29,007,547.5 Psi).
5. Módulo de corte: 11,501.5 Ksi (79.3 GPa).
6. Dureza Brinell: 119 - 162 HB.

2.2.1.5.2 Propiedades químicas.

Para garantizar ciertas características de calidad (como la soldabilidad, tenacidad y otras más), la norma ASTM establece valores máximos permisibles para ciertos elementos como: Carbono(C), Silicio(SI), Molibdeno(Mo), Manganeso(Mn), Cobre(Cu), Aluminio(Al), Fósforo(P), Níquel(Ni), Vanadio(V), Azufre(S), Cromo(Cr) y Titanio(Ti).[49] La norma ASTM A 36 establece valores mínimos de concentración de los siguientes elementos:

1. 0.25 – 0.29 % C
2. 0.60 – 1.20 % Mn
3. 0.15 – 0.40 % Si
4. 0.04 % P
5. 0.05 % S
6. 0.20% Cu

[49]Ing. Gamonal R. Principales normas de calidad del acero. Editorial Aceros Arequipa. Pg.23

Nota: La concentración o equivalencia de cada uno de estos elementos varía de acuerdo al tipo de pieza a fabricar pudiendo ser o menos concentración, normalmente dicha información la especifica el fabricante en sus manuales.

2.2.1.5.3 Propiedades físicas.

A la vista el acero ASTM A 36, puede tener diferentes apariencias, formas y tamaños desde las placas, perfiles, tubos hasta los ángulos y cables. Pero en lo que cada uno de estos coincide son en sus propiedades internas, las cuales se destacan dos muy importantes. Las cuales se mencionan a continuación.

1. Densidad del acero A 36: 7.85 g/cm^3 (0.284 lb/in^3)
2. Relación de Poisson: 0.26

Nota: Cabe mencionar que los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material.

2.2.1.5.4 Soldabilidad.

Según la norma ASTM A 36 cuando el acero vaya a ser soldado, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto. La soldabilidad de un acero, en relación con la susceptibilidad al agrietamiento por soldadura, se puede estimar aproximadamente empleando el concepto de carbono equivalente (CE), el cual se puede calcular empleando varias fórmulas. No obstante, el acero A 36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad, por lo que se recomienda utilizar los siguientes tipos de soldaduras: 6010, 6011, **6013**, 7018, 7024. **La calidad de la soldadura dependerá de la marca del fabricante.**

2.2.2. Grado y tipo de acero estructurales.

Un gran número de grados de acero estructural están disponibles en el mercado actualmente, para los perfiles, placas, redondos, tubería, etc. Hay que recalcar que la norma que se hará referencia en este apartado será la **ASTM** (Ver sección 4.1.1.2). Dicha norma garantiza básicamente las propiedades mecánicas mínimas y soldabilidad de los aceros dado el uso de éstos. A efectos de garantizar sus propiedades mecánicas se establece valores mínimos del acero: **Límite de fluencia** (o **Grado estructural**), resistencia a la tracción, alargamiento y doblado.

2.2.2.1 Grados de acero para perfiles y placas.

La ASTM aprobó las normas[50] para las placas y laminados en caliente que son A 36, A 572, A 242, A 588, A 709, A 852, A 514, A 913 y A 992. La nomenclatura ASTM esta mostrada en la figura 2.2.2.1.1, la cual es utilizada para la designación de los aceros estructurales de un solo grado. A continuación, mostramos los grupos más importantes dentro de la norma ASTM.



Figura 2.2.2.1.1: Nomenclatura ASTM para aceros al carbono de un solo grado de carbono.

1. **ASTM A 36:** Ha sido uno de los grados de acero primarios para todos los tipos de estructuras. Se han especificado mínimos de f_y y f_u de 36 y 58 Ksi (2,531.05 y 4,077.80 Kgf/cm^2). Casi todos los tamaños de tipos de perfiles y placas están todavía disponibles en el A 36 (excepto los perfiles IR,

[50] Norma ASTM para aceros estructurales. Mas información en: www.astm.org

W o H), aunque el esfuerzo de fluencia mínimo especificado baja a 32 Ksi (2,249.82 Kgf/cm^2) para espesores de placa de más de 8 pulgadas (203 mm).

2. **ASTM A 529:** Es muy utilizado por la industria de la construcción metálica, también es un grado muy común para barras, perfiles como los ángulos, canales pequeños. El A 529 básico incluye grado 50, para los perfiles de ASTM en los grupos 1 y 2, placas de hasta 1 in de espesor por 12 in de ancho y barras hasta 2 1/2 in de diámetro. f_y y f_u, son de 50 y 70 Ksi (3,515.34 y 4,921.48 Kgf/cm^2).
3. **ASTM A 572:** Está disponible en varios grados, dependiendo del tamaño del perfil y el espesor de la placa. Grado 50, con f_y = 50 Ksi y f_u = 65 Ksi (3,515.34 y 4,569.95 kg/cm^2 respectivamente) está disponible en todos los tamaños de perfiles y espesores de placa hasta 4 in.
4. **ASTM A 588:** Este acero es para intemperie fue aprobado en 1968, también conocido como “patinable” está disponible en varios grados con pequeñas variaciones en su composición química. Los limites f_y y f_u, en todos los grupos de ASTM de perfiles estructurales y de planchas en espesores de 4 in con menos de 50 y 70 Ksi respectivamente.
5. **ASTM A 992:** Es el acero más reciente adicionalmente a la lista de los aceros estructurales. Está destinado para la construcción y se aplica en perfiles W. Para todos los fines prácticos, el ASTM A 992 es el A 572 grado 50 con controles adicionales. Específicamente, además de hacer hincapié en un determinado límite de fluencia mínimo de 50 Ksi. Ofrece un límite superior para el límite de fluencia f_y de 65 Ksi. La relación de resistencias, f_y/f_u, no es mayor de 0.85%, de carbono no supera el 0.47%. Otorga una excelente soldabilidad, así como ductilidad, al contener menor contenido de carbono y mayor control sobre el Molibdeno.

2.2.2.2 Grados de acero para secciones estructurales huecas y tubos.

Las especificaciones de acero estructural para las secciones huecas estructurales (HSS) son ASTM A 500, A 501, A 618 y A 847, para tubos de acero es ASTM A 53. Las más importantes se mencionan a continuación. [51]

Tipo de acero	Diferentes usos
ASTM A 36	- Placas de conexión - Anclaje de barras redondas lisas (OS) y perfiles (LI) - Cuerdas superiores e inferiores de armaduras (LI) - Montantes y diagonales de armaduras (LI) - Largueros tipo Joist (OS o LI) - Contravientos de cubiertas (OS)
ASTM A 529 G 50	- Placas hasta 1" de espesor (Placas de conexión, placas base, cartabones, etc.) - Canales (CE) pequeños utilizados para alfardas de escaleras y conexiones de postes de viento - Cuerdas de armaduras de (LI) - Montantes y diagonales (LI) - Contravientos laterales (LI)
ASTM A 572 G 50	- Placa hasta 4" - Vigas principales tipo (IR) - Vigas secundarias tipo (IR) - Columnas de perfiles tipo (IR) - Mezzanines
ASTM A 588	- Acero patinable (es un acero que esta sometido a la intemperie) - Plataformas marinas
ASTM A 709	- Puentes - Torres de transformación
ASTM A 992	- Vigas (IR) - Columnas (IR) - Mezzanines (IR) - Postes de viento (IR) - Espectaculares (IR) - Trabes Carril
ASTM A 53	- Tubos estructurales
ASTM A 500	- Columnas de secciones huecas cuadradas (HSS u OR) - Columnas de secciones huecas circulares (OC) - Columnas de secciones huecas rectangulares (HSS u OR)
ASTM A 501	- Bastidores (PTR u OR) - Bases de tanques de gas, agua, etc (PTR u OR)

Figura 2.2.2.2.1: Los diferentes tipos de acero y las aplicaciones más comunes.

1. **ASTM A 53:** Está disponible en los tipos E y S, donde E designa a una resistencia a la soldadura y S a tubos sin costura. El grado B, es apto para usos estructurales, con el esfuerzo de fluencia y la resistencia a la tensión de 35 y 50 Ksi (2,460.74 y 3,515.34 Kgf/cm^2).
2. **ASTM A 500:** Está disponible para perfiles redondos, formados en frío HSS en tres grados y para cuadrados o rectangulares. Las propiedades de HSS cuadrados y rectangulares, difieren de las de los redondos. El grado más común es el A 500 grado B, cuyo esfuerzo de f_y y f_u son de 46 y 58 Ksi (3,234.12 y 4,077.80 Kgf/cm^2).

[51] Cházaro y Álvarez. Elección del tipo de acero para estructuras. Editorial GERDAU. Pg. 16

3. **ASTM A 501:** Es idéntico al A 36 para todos los efectos prácticos. Se utiliza para las secciones circulares, así como HSS cuadrados y rectangulares.

2.3 Diseño de piezas.

De acuerdo con Hernández y Espejo (2002). El objetivo de un diseño estructural es de producir una estructura que desempeñe una función eficiente, segura y económicamente.[52] Teniendo eso en cuenta, el diseño que se mostrara a continuación de las piezas (ver sección 2.3.2), fue producido bajo las siguientes criterios y especificaciones expedidas por Volkswagen de México S.A. de C.V.

Especificaciones requeridas:

1. Elaboración de un gancho (a través de ingeniería inversa), para el proceso de pintado del automóvil Golf. El cual debe de contener las medias determinadas por el "master" de Volkswagen, ya que se accionará por un brazo robótico automático. De la misma manera, el material para el cuerpo y conexiones (Excepto la tornillería) será de acero ASTM A 36.
2. La tornillería que incluye el gancho es especificada bajo la norma DIN.
3. La soldadura será especificada bajo los requisitos que engloba el proceso de soldadura del acero ASTM A 36.
4. La revisión e inspección se hará en las instalaciones Volkswagen por personal encargado. En la cual, evaluará la soldadura, tolerancias y exactitud del gancho, para obtener el visto bueno de aprobación.
5. La carga mínima que deberán de soportar las partes fijas o conjuntos móviles será de 100N de acuerdo al uso previsto que tendrá.
6. El factor de seguridad como mínimo debe ser 1 respeto al límite de ruptura del material anteriormente mencionado.
7. Los ganchos que no pasen la prueba serán regresados para su corrección.

[52] Hernández y Espejo. (2002). Mecánica de fractura y análisis de falla. Editorial. Panamericana formas e impresos S.A. 1° Edi. Pg. 116

2.3.1 Despiece de partes.

El gancho requerido por Volkswagen (VW) se observa en las figuras 2.3.1.1 y 2.3.1.2 el cual, es el de muestra para una reproducción total del mismo, ***cabe aclarar que dicho gancho es único, y que la reproducción del mismo está PROHIBIDA, solo está permitida la fabricación por personal acreditado para dicha labor y autorizado por VW y USAI.*** Las partes que lo componen se describen a continuación (algunas piezas son similares por lo que solo se menciona una de ellas. Todas las medidas mostradas están expresadas en pulgadas (in).

1. Arandela de 9/16 in
2. Pija hexagonal 9/16 in
3. Tuerca hexagonal de 5/16 in
4. Tubo de 1/2 in
5. Redondo pulido de 1/4 in
6. Redondo negro de 3/8 in
7. Redondo negro de 3/8 in
8. Redondo pulido de 1/4 in
9. Redondo negro de 3/8 in
10. Redondo pulido de 1/4 in
11. Redondo pulido de 5/16 in
12. Solera de 1/2 x 1/4 in
13. Redondo pulido de 1/4 in
14. Cople hexagonal de 1/4 x 7/8 in
15. Tornillo hexagonal 1/4 x 1 1/4 in
16. Redondo negro de 3/8 in
17. Redondo pulido de 5/16 in

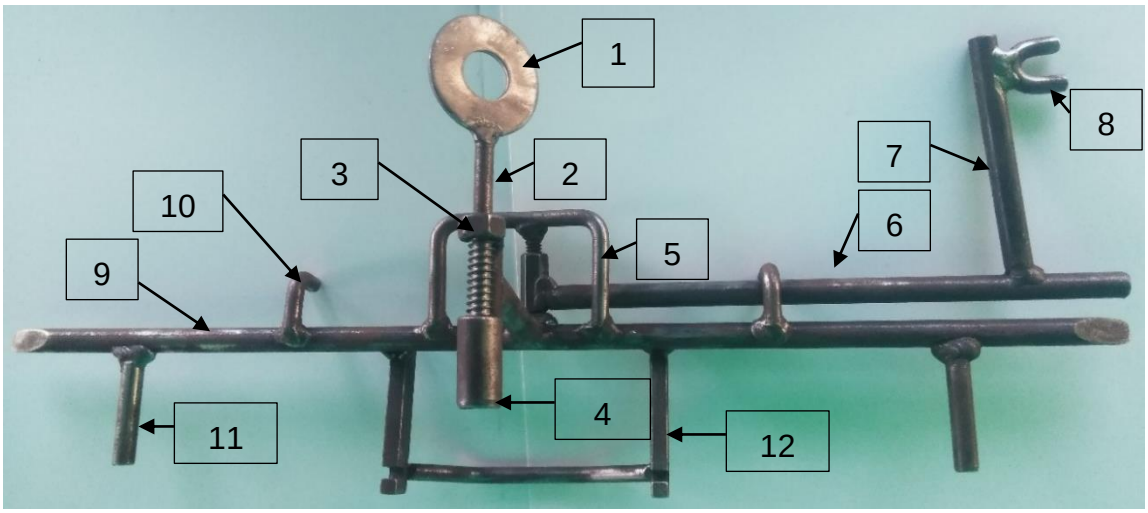


Figura 2.3.1.1: Numeración de las partes que componen el gancho vista trasera.

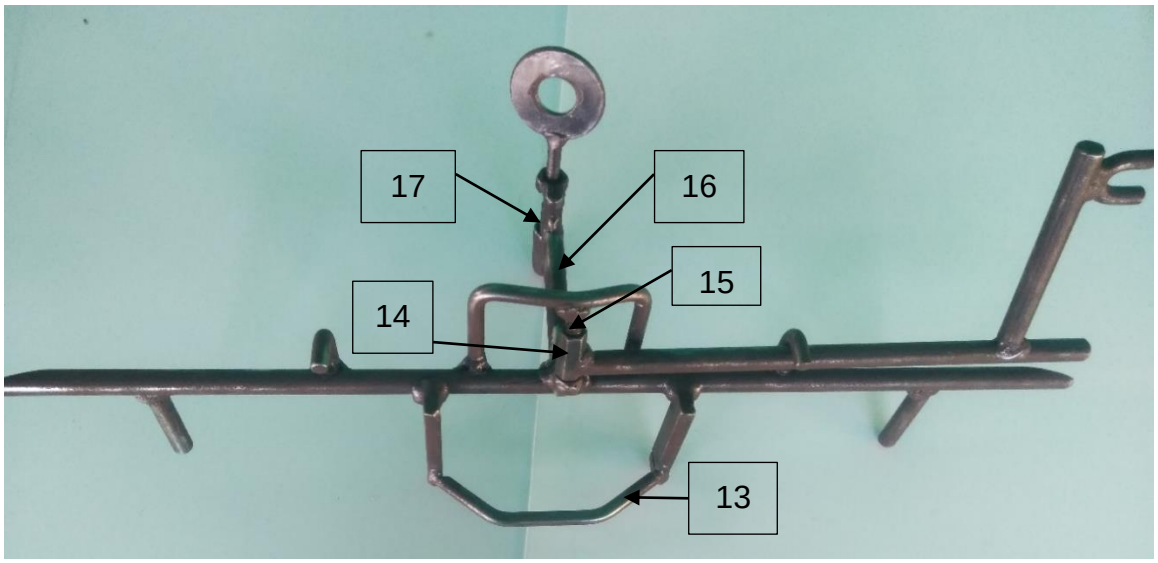


Figura 2.3.1.2: Numeración de las partes que componen el gancho vista frontal.

2.3.2 Planos de piezas.

En el apartado 2.3.1 se expusieron las piezas que comforman el gancho, de la misma manera el tamaño de los redondos, soleras, tornillos y tuercas. Por lo que acontimuación procederemos a relizar los planos de las piezas que se observan en las figuras 2.3.1.1 y 2.3.1.2.

Se debe de tener en cuenta que todas las medias que se mostraran acontinuación estan dadas en milimetros(mm), los angulos estaran en grados (°), cualquier otra media alli mostrada, como las cota duales estan expresadas en las unidades alli expuestas.

1. Solera (Piezas indicada con el numero 12).

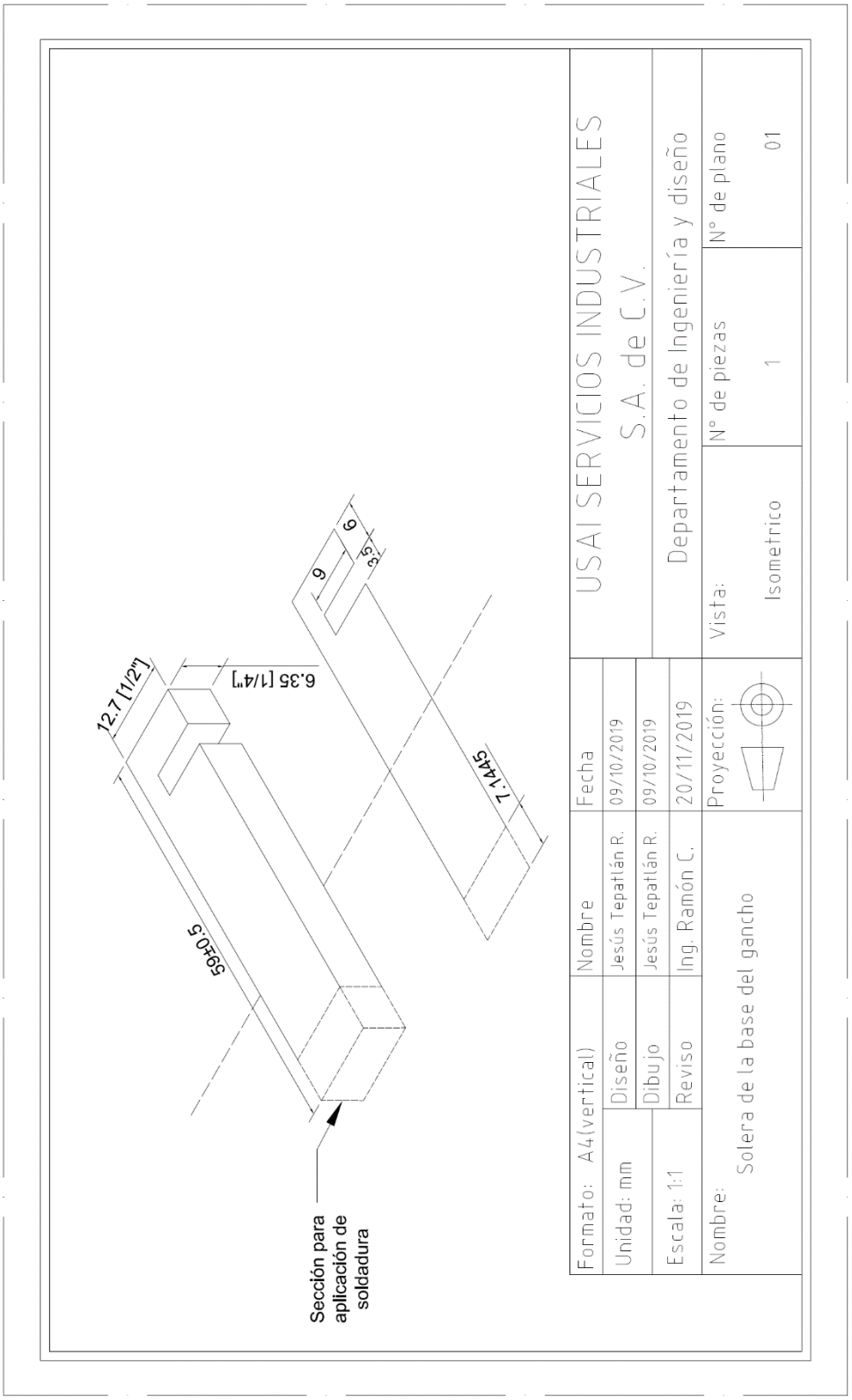


Figura 2.3.2.1 Solera del gancho.

2. Brazo del gancho (Piezas 6, 7, 8, 14, y 15).

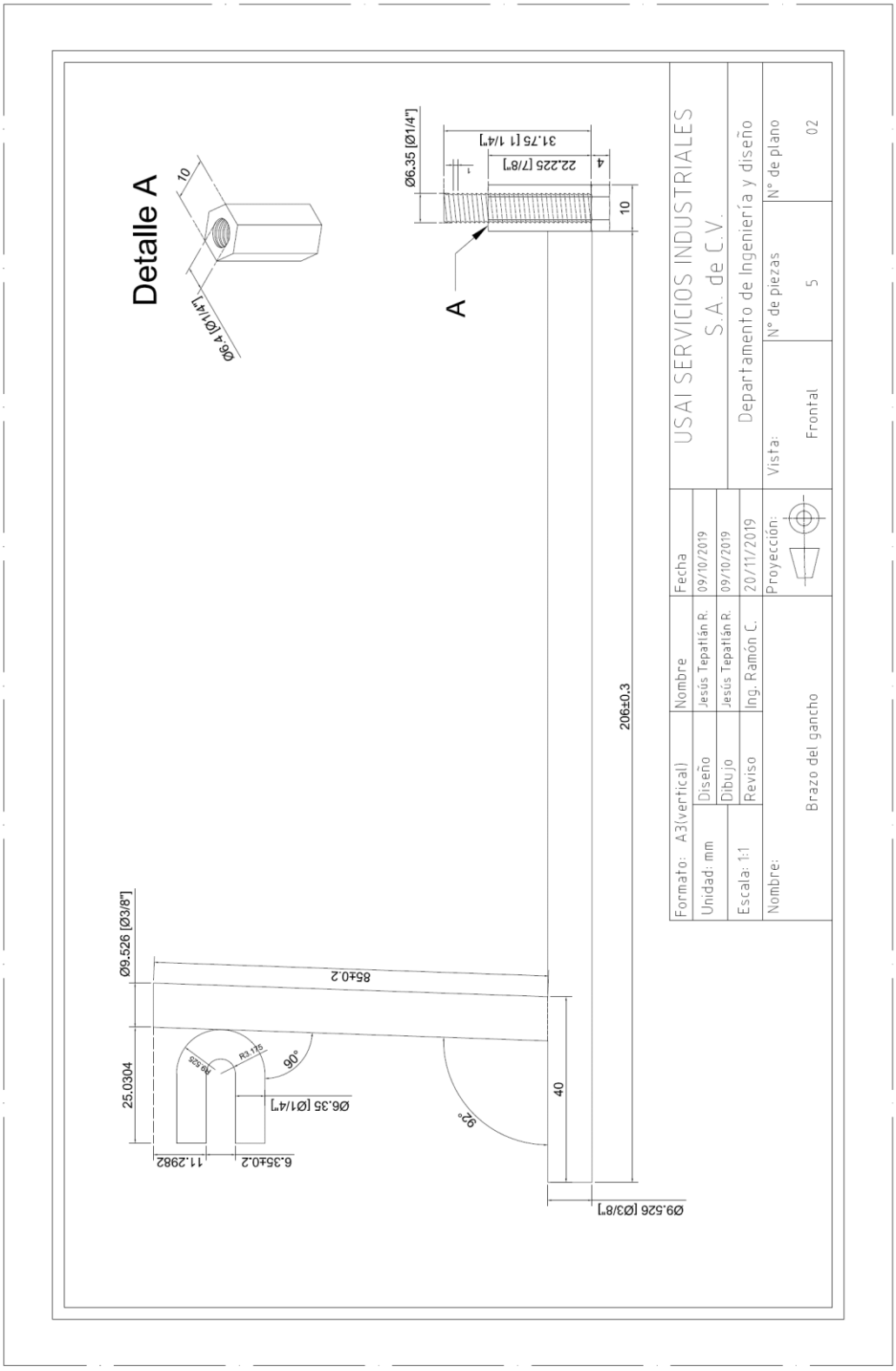


Figura 2.3.2.2: Brazo el gancho.

3. Pija con su soporte a la base del gancho (Piezas 1, 2, 3, 4, 16 y 17).

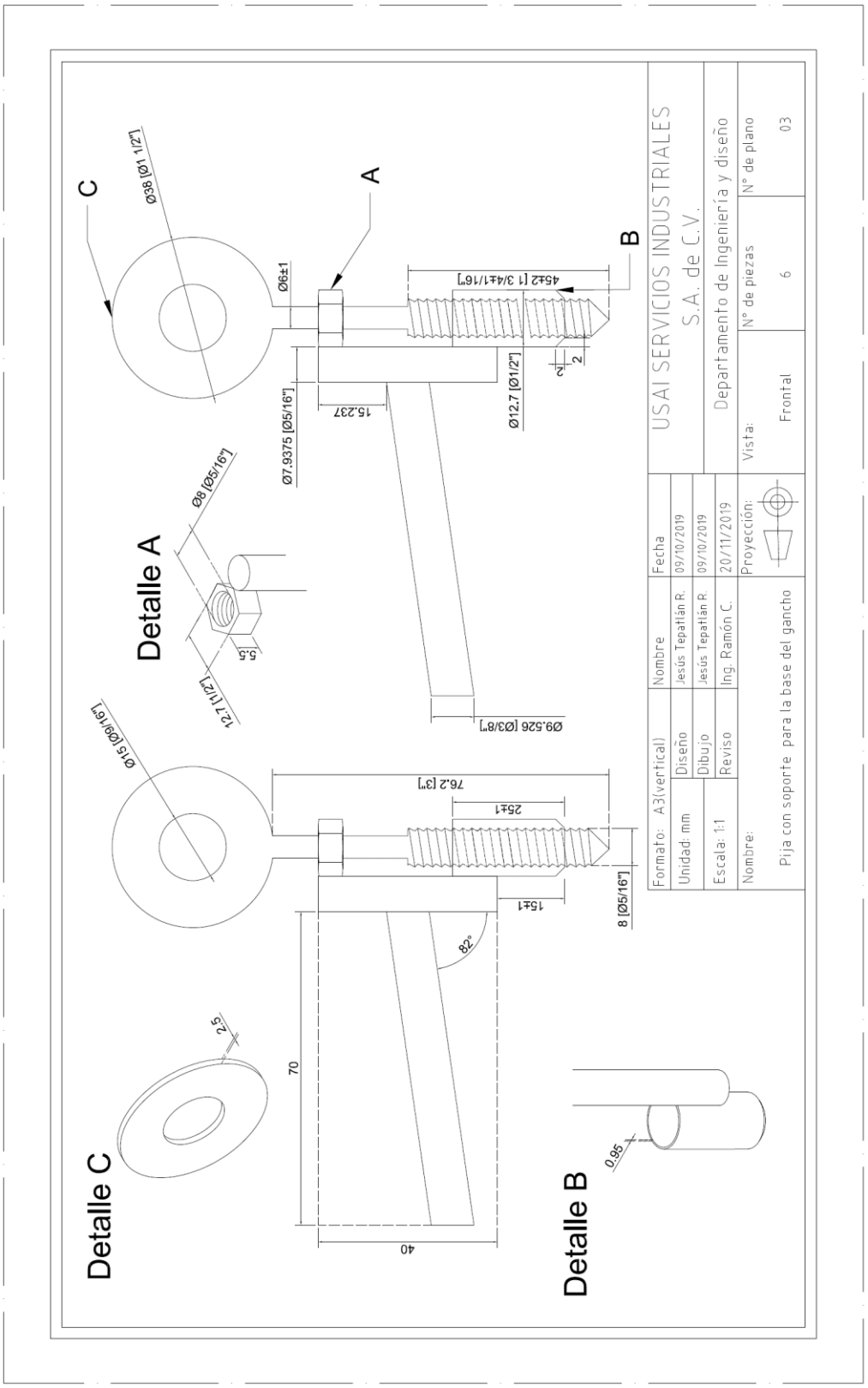


Figura 2.3.2.3: Pija con soporte para la base del gancho.

4. Soporte del brazo al cuerpo del gancho (Pieza 5).

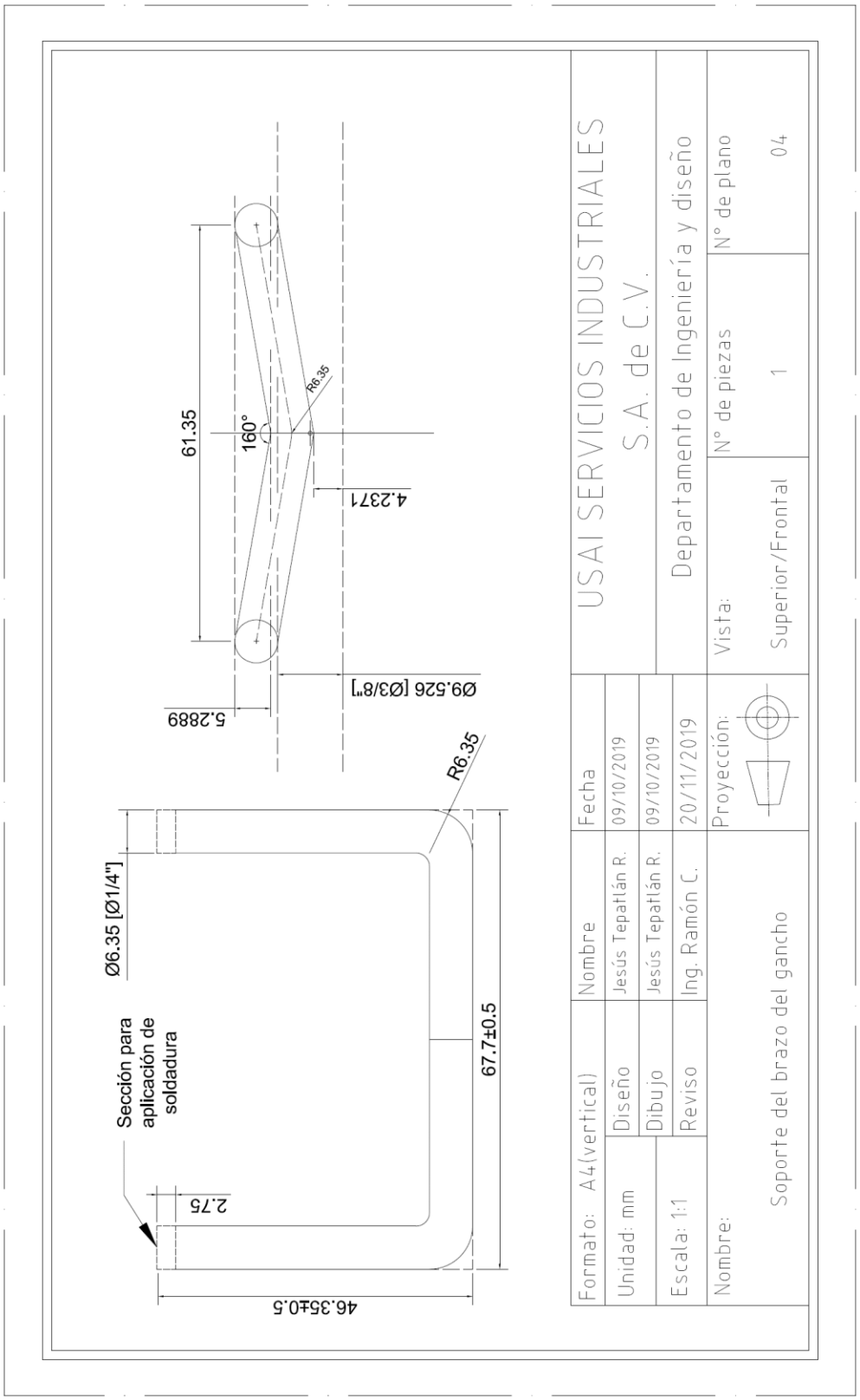


Figura 2.3.2.4: Soporte del brazo del gancho.

5. Soporte para la soleras (Pieza 13).

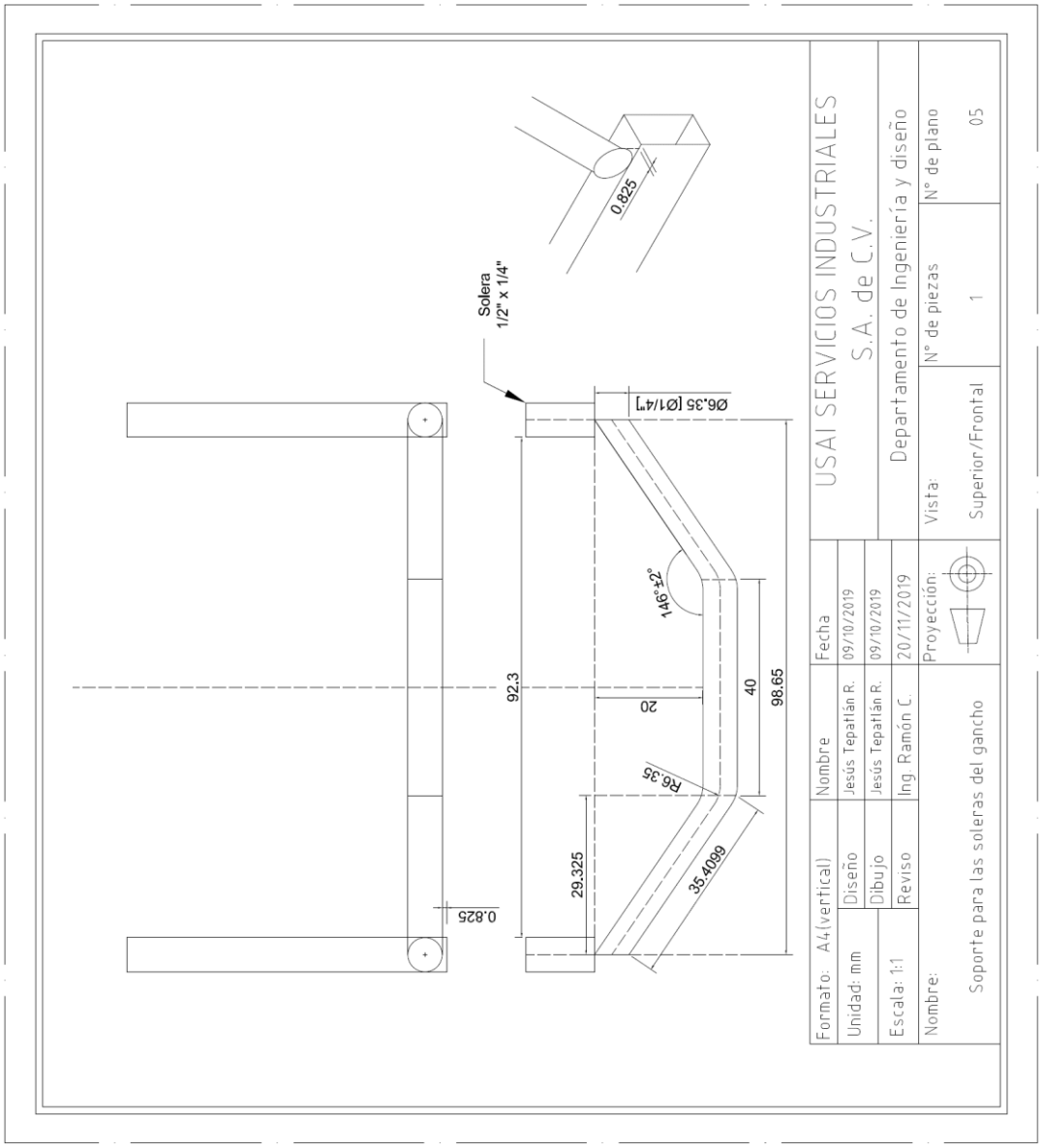


Figura 2.3.2.5: Soporte para las soleras del gancho.

6. Tope del brazo y soporte del mismo (Piezas 10).

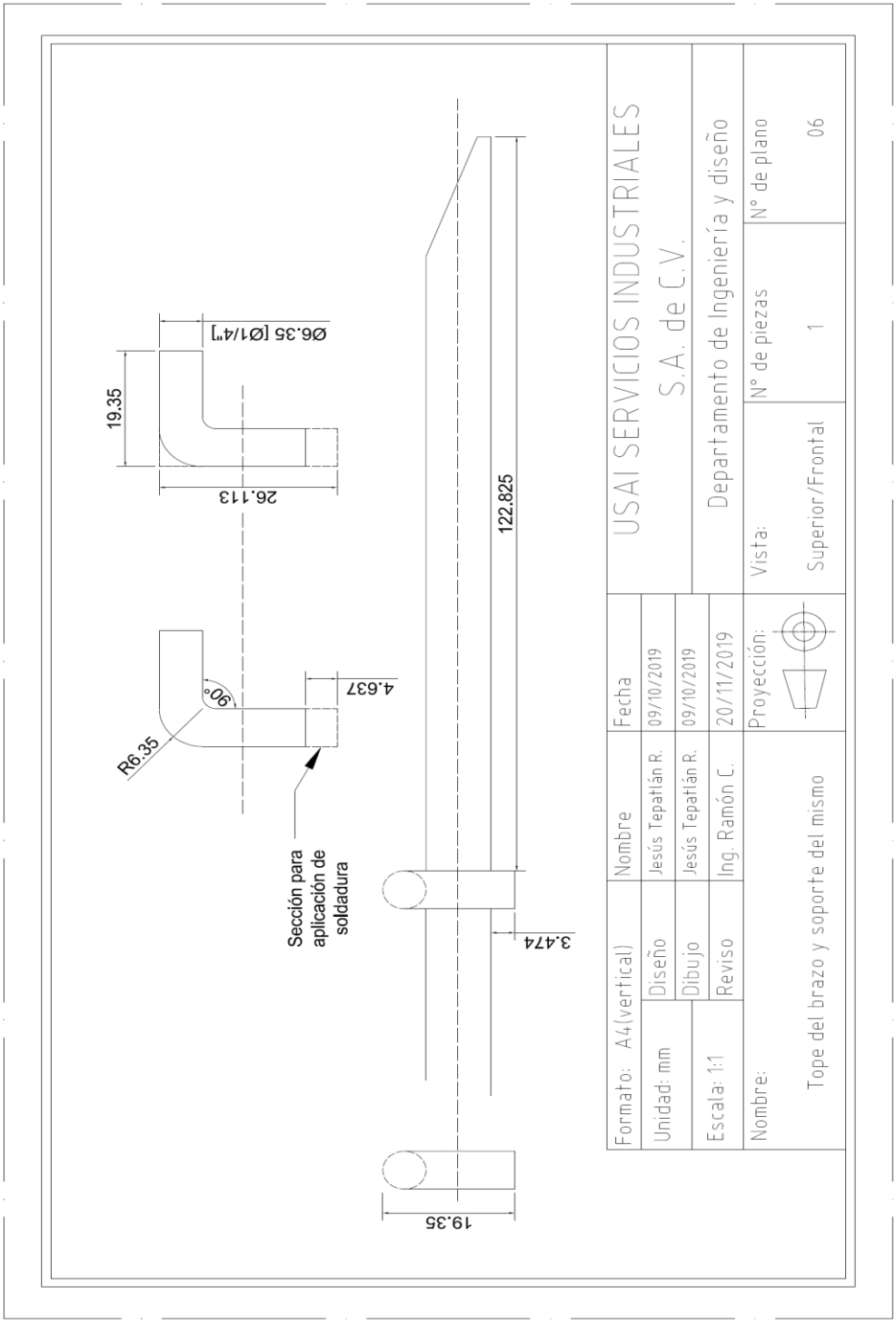


Figura 2.3.2.6: tope del brazo y soporte del mismo.

7. Soporte del cuerpo del gancho (Pieza 11).

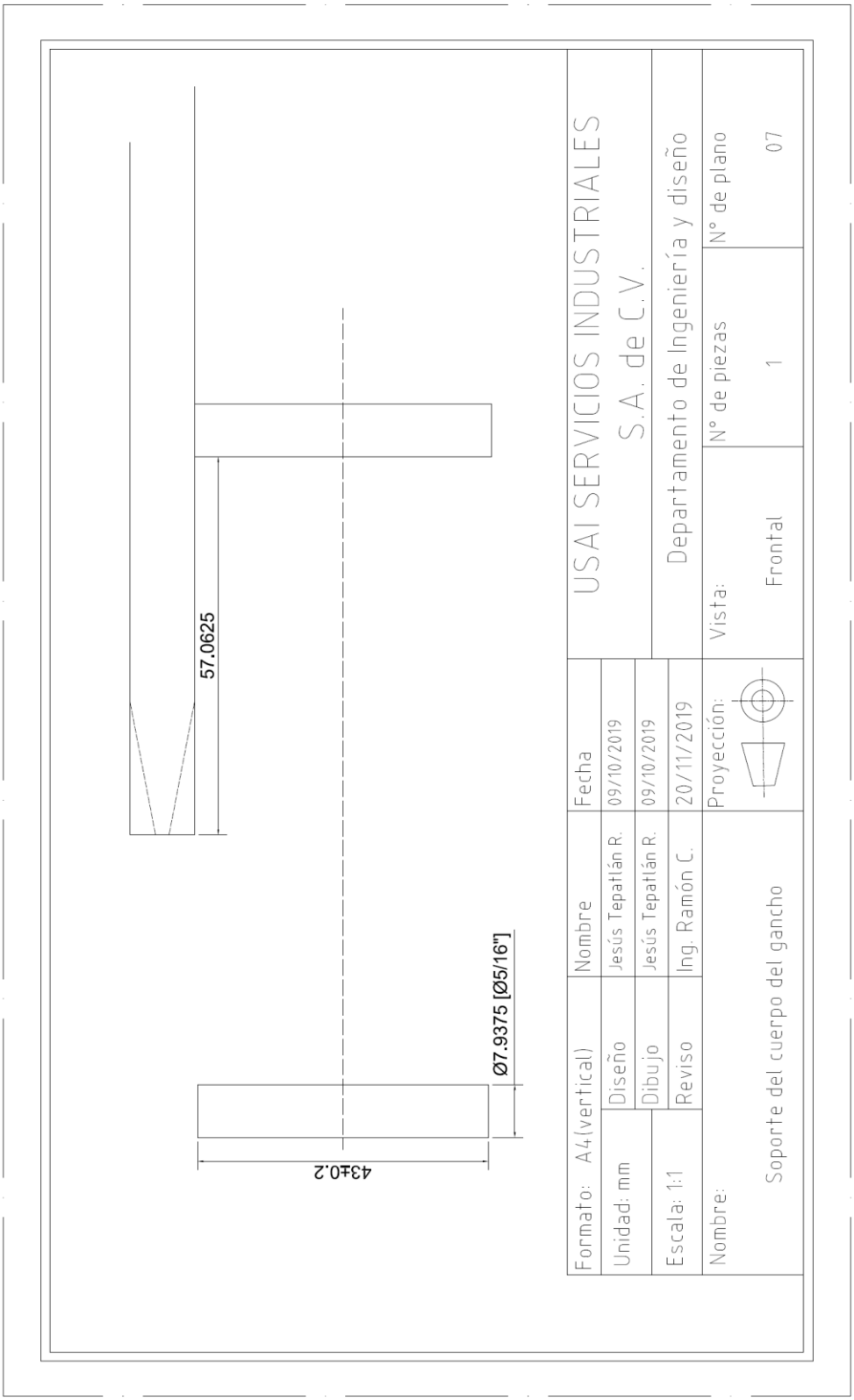


Figura 2.3.2.7: Soporte del cuerpo del gancho.

8. Base del cuerpo del gancho y gancho armado (pieza 9).

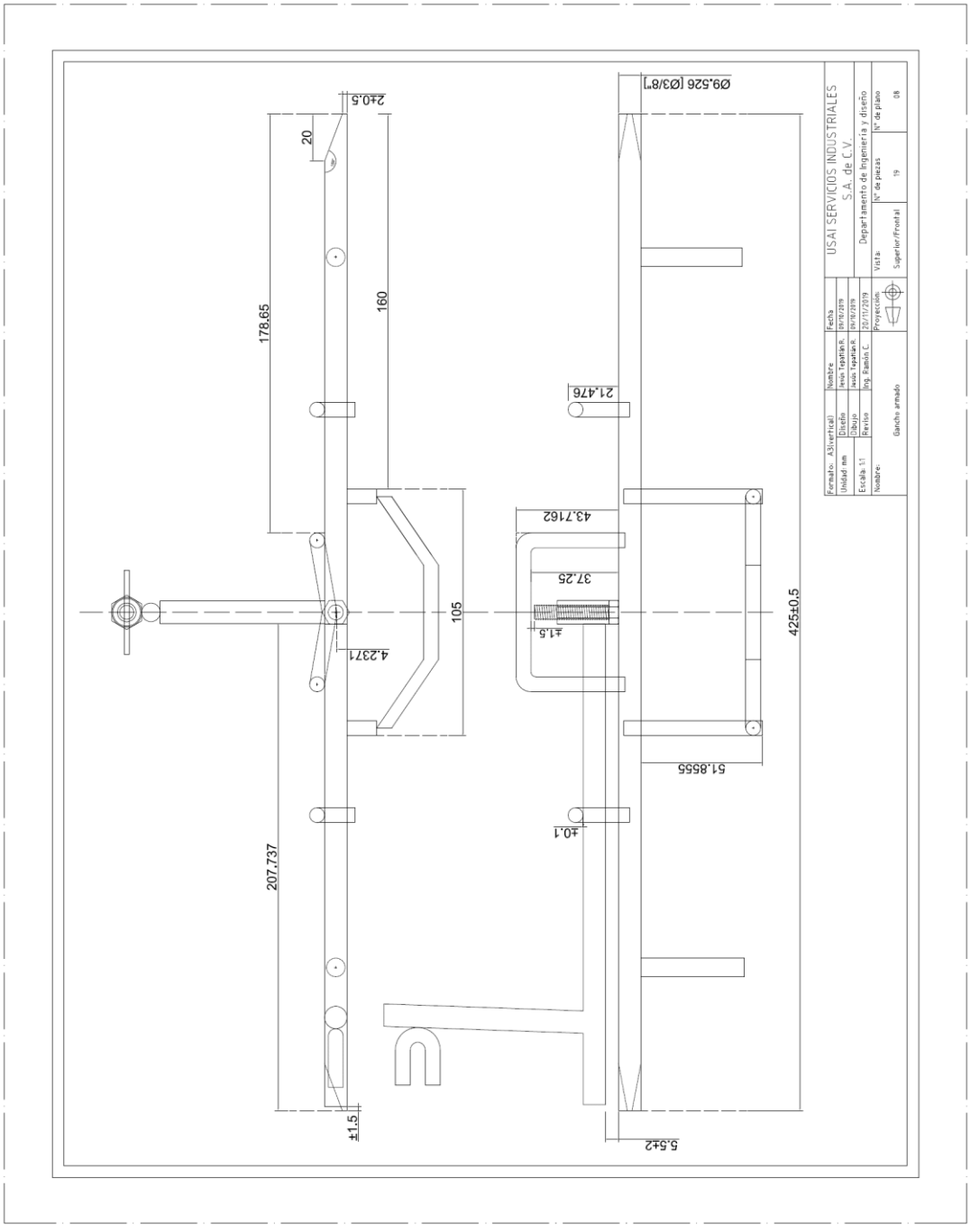


Figura 2.3.2.8: Base del cuerpo el gancho y gancho armado.

9. Plano detallado del gancho.

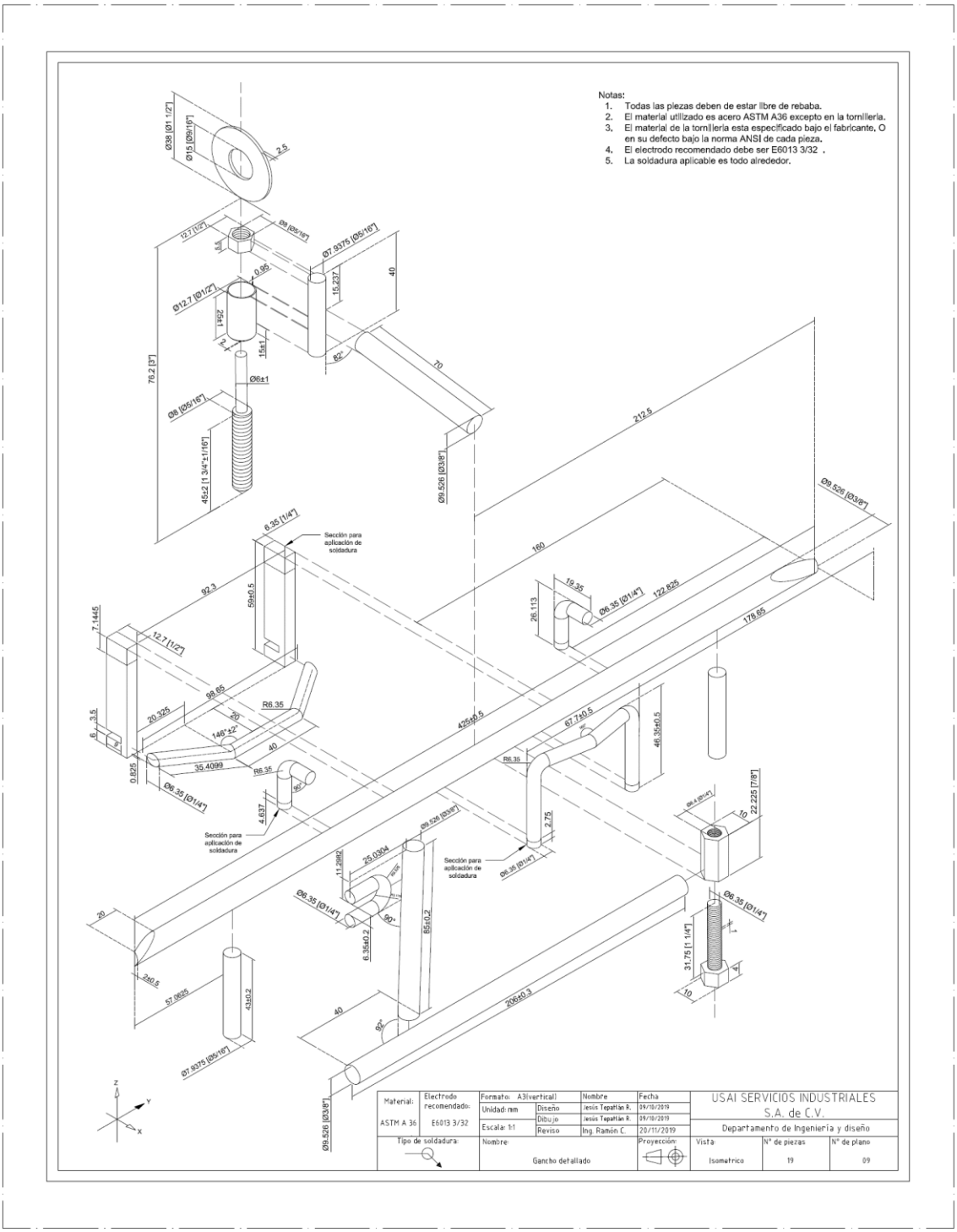


Figura 2.3.2.9: Plano detallado del gacho a detalle.

10. Ubicación de la aplicación de soldadura.

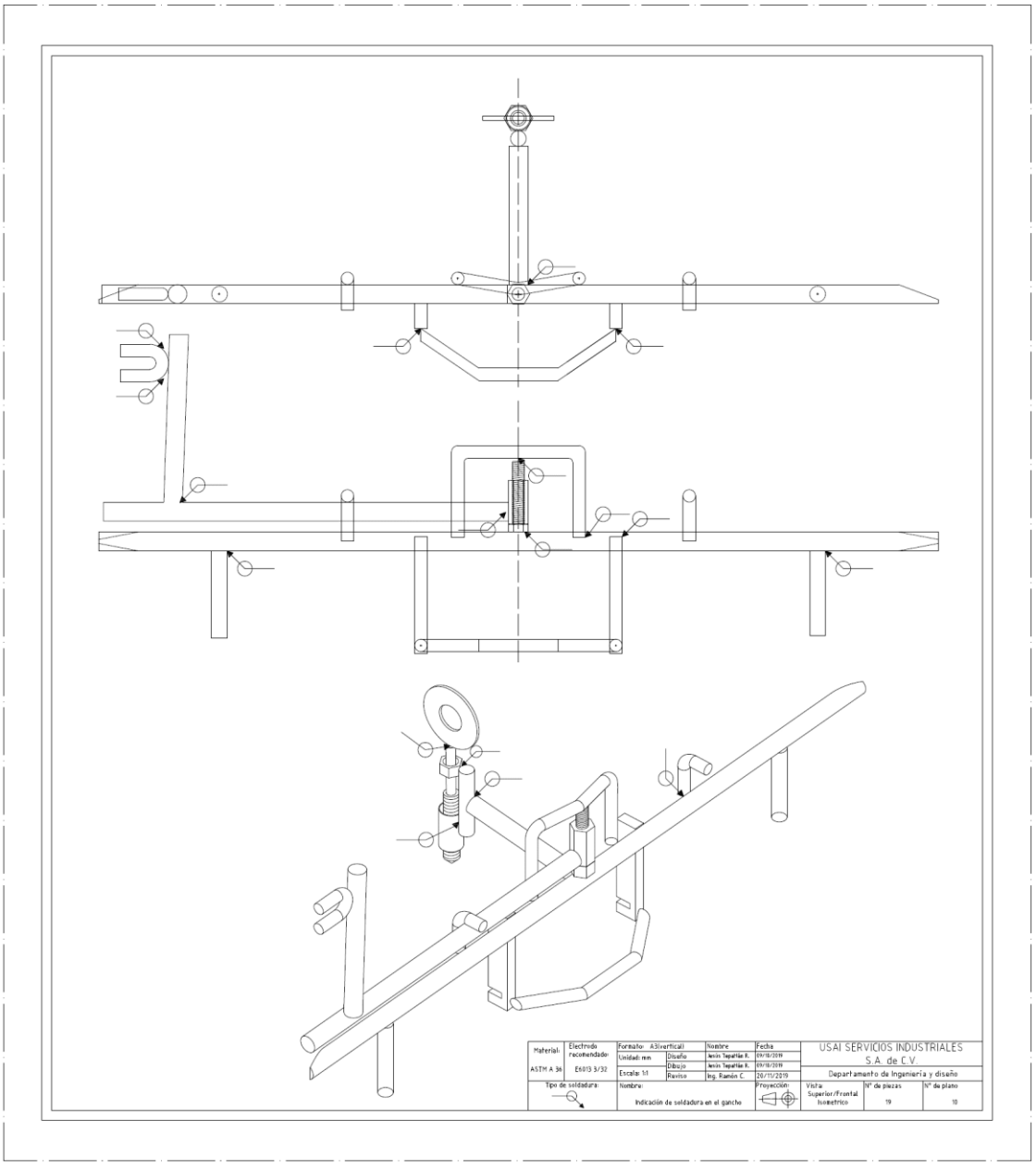


Figura 2.3.2.10: Indicación de la aplicación de soldadura.

11. Gancho ensamblado.

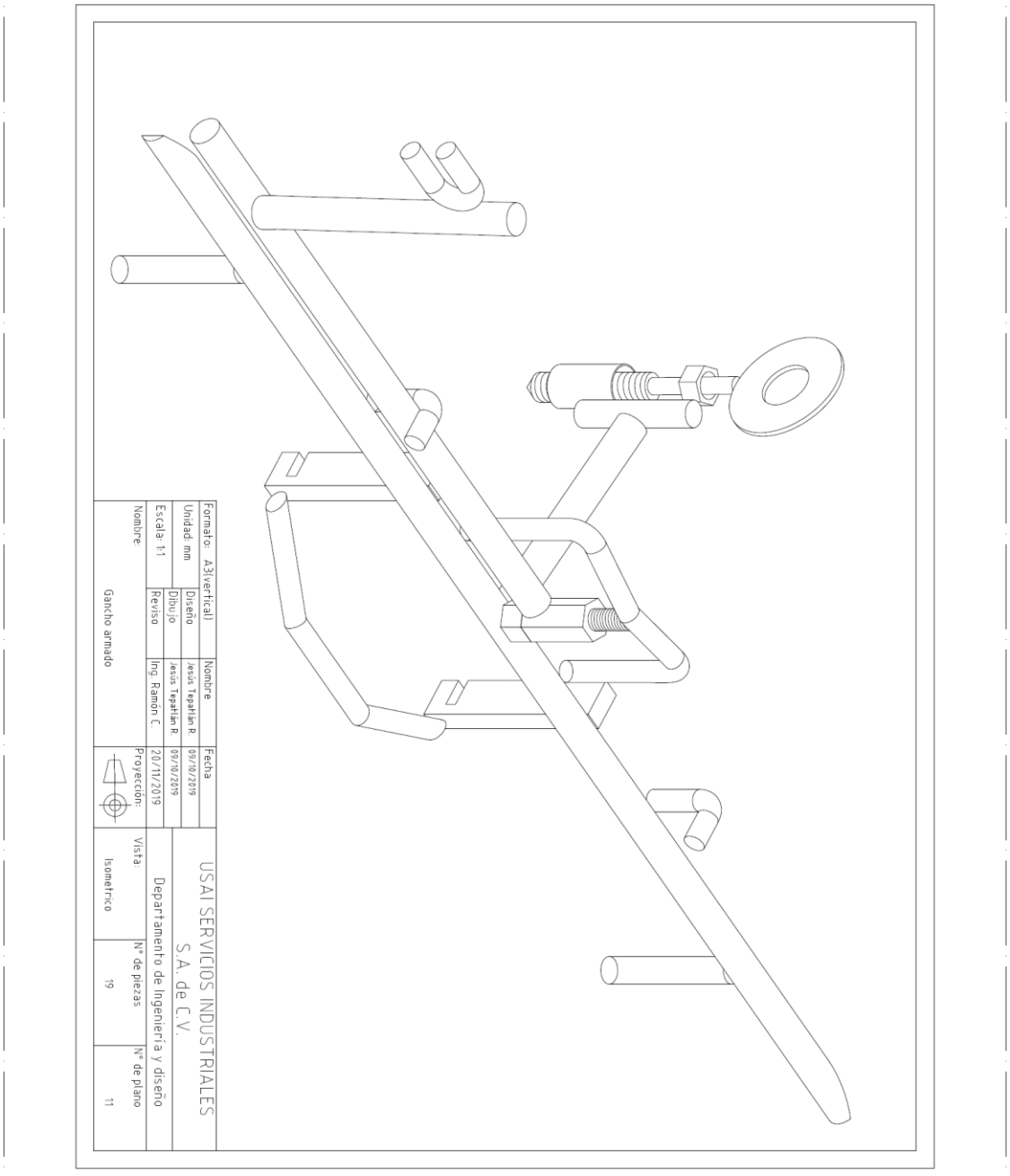


Figura 2.3.2.11: Gancho ensamblado.

2.3.3 Modelado y ensamble de piezas en Solidworks.

Basándose en los modelos de las piezas en 2D, se crearán modelos en tres dimensiones (3D) de dichas piezas, con el acero correspondiente ASTM A 36. El software a utilizar será Solidworks. A continuación, se muestran las piezas con su textura y tipo de material.

2.3.3.1 Modelado de piezas en Solidworks

1. Solera (Piezas indicada con el numero 12).

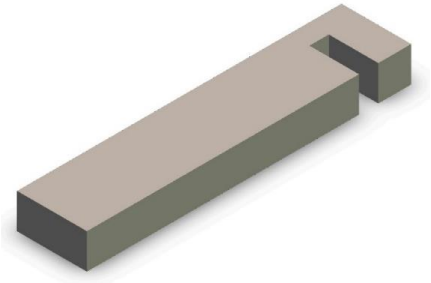


Figura 2.3.3.1.1: Solera del gancho.

2. Brazo del gancho (Piezas 6, 7, 8, 14, y 15).

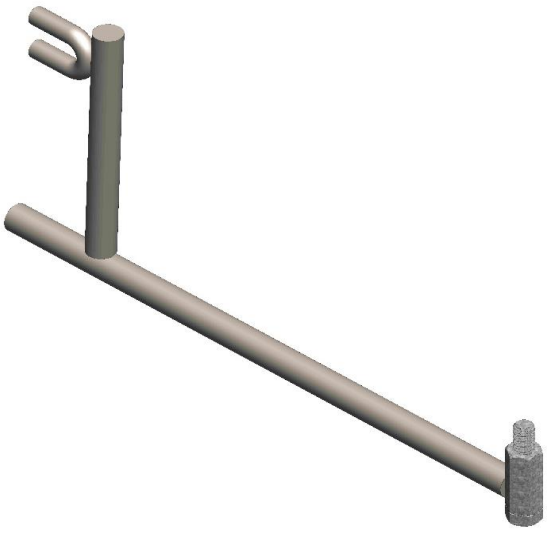


Figura 2.3.3.1.2: Conjunto del brazo del gancho.

3. Pija con su soporte a la base del gancho (Piezas 1, 2, 3, 4, 16 y 17).

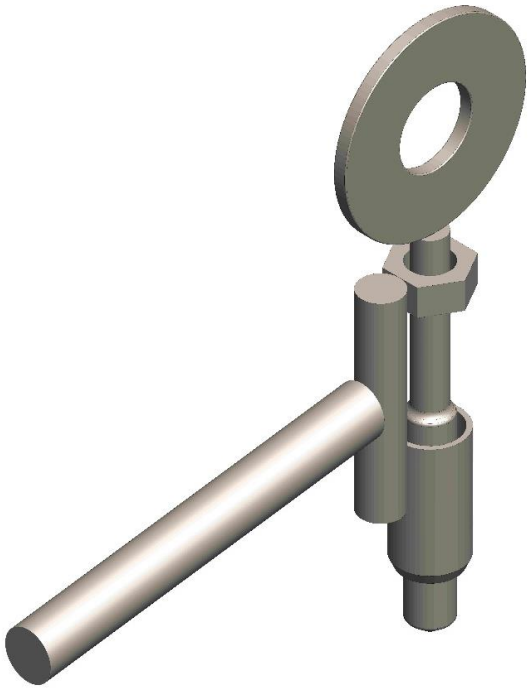


Figura 2.3.3.1.3: Conjunto de la pija del gancho.

4. Soporte del brazo al cuerpo del gancho (Pieza 5).

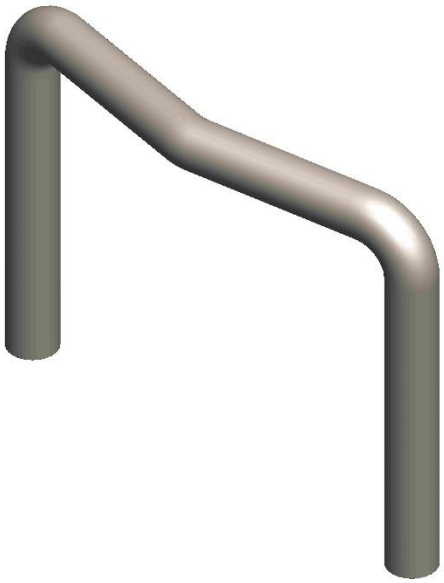


Figura 2.3.3.1.4: Soporte del brazo al cuerpo del gancho.

5. Soporte para las soleras (Pieza 13).

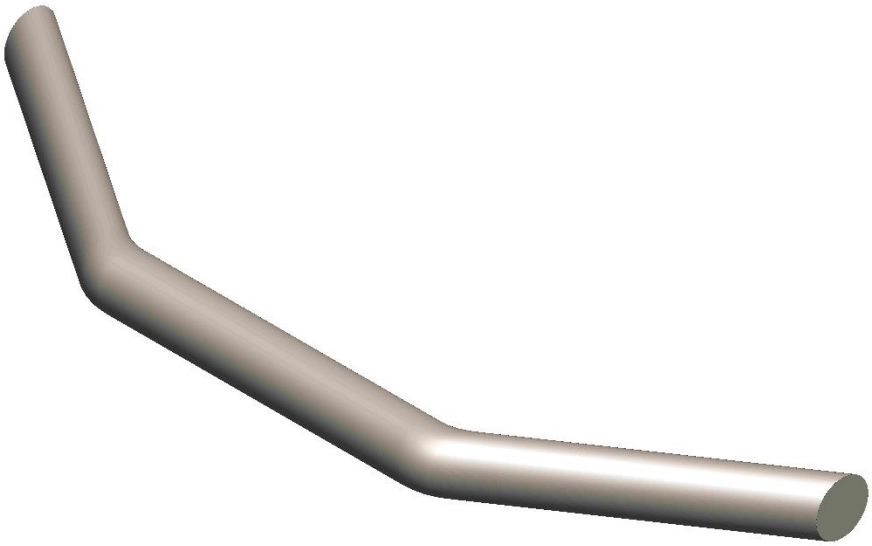


Figura 2.3.3.1.5: Soporte para las soleras del gancho.

6. Tope del brazo y soporte del mismo (Piezas 10).

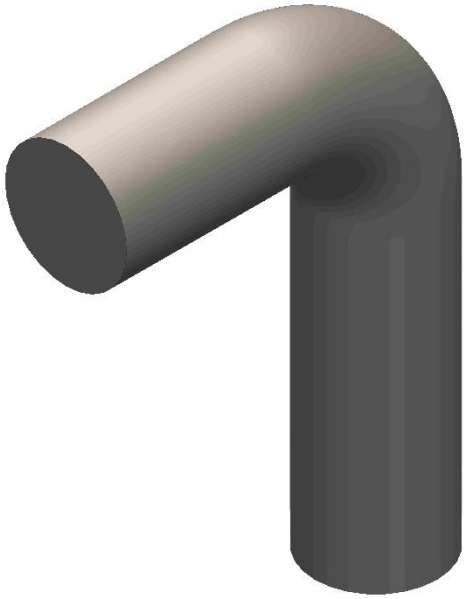


Figura 2.3.3.1.6: Tope del brazo y soporte del mismo.

7. Soporte del cuerpo del gancho (Pieza 11).



Figura 2.3.3.1.7: Soporte del cuerpo del gancho.

8. Base del cuerpo del gancho (pieza 9).

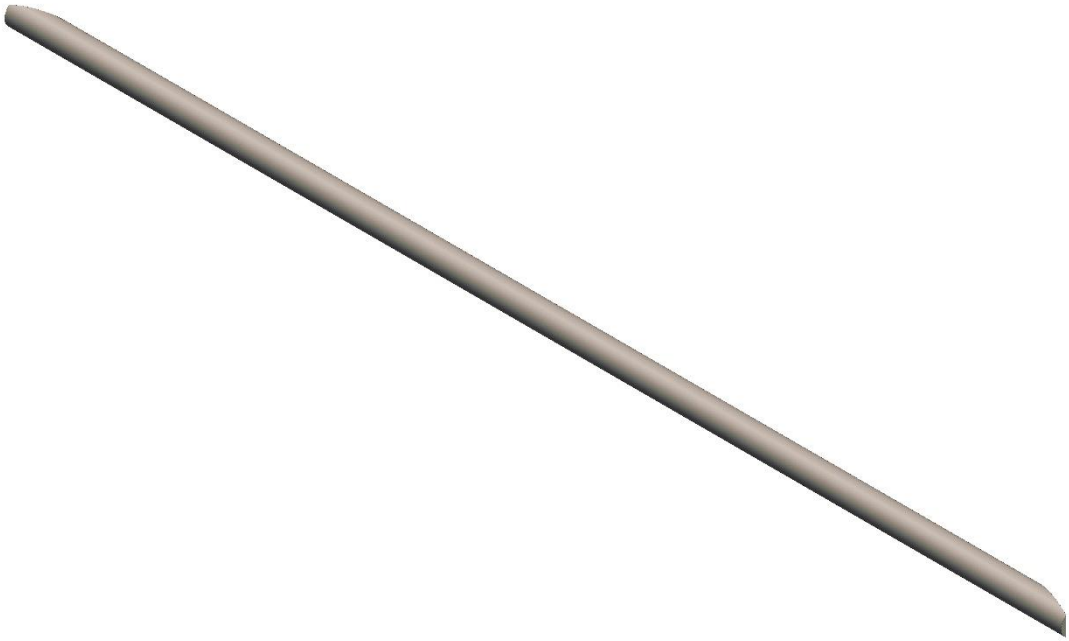


Figura 2.3.3.1.8: Base del cuerpo del gancho.

2.3.3.2 Ensamblé del gancho en Solidworks.

Tras realizar las piezas se procede al ensamblaje del gancho. Un ensamblaje en SolidWorks consiste en colocar todas las piezas con relaciones entre sí, para determinar la ubicación precisa de cada una de ellas en los ejes (X, Y, Z), esto otorga la movilidad correcta de nuestra pieza (en caso que lo requiera) entre otras cosas más como toleraciones, restricciones, grados de libertada, etc.

A continuación, se muestra el gancho ensamblado, el cual se utilizará para la simulación de fuerzas. Este gancho no es el final aun, ya que aún faltan la colocación de soldaduras, la cual se hará en la parte de simulación.

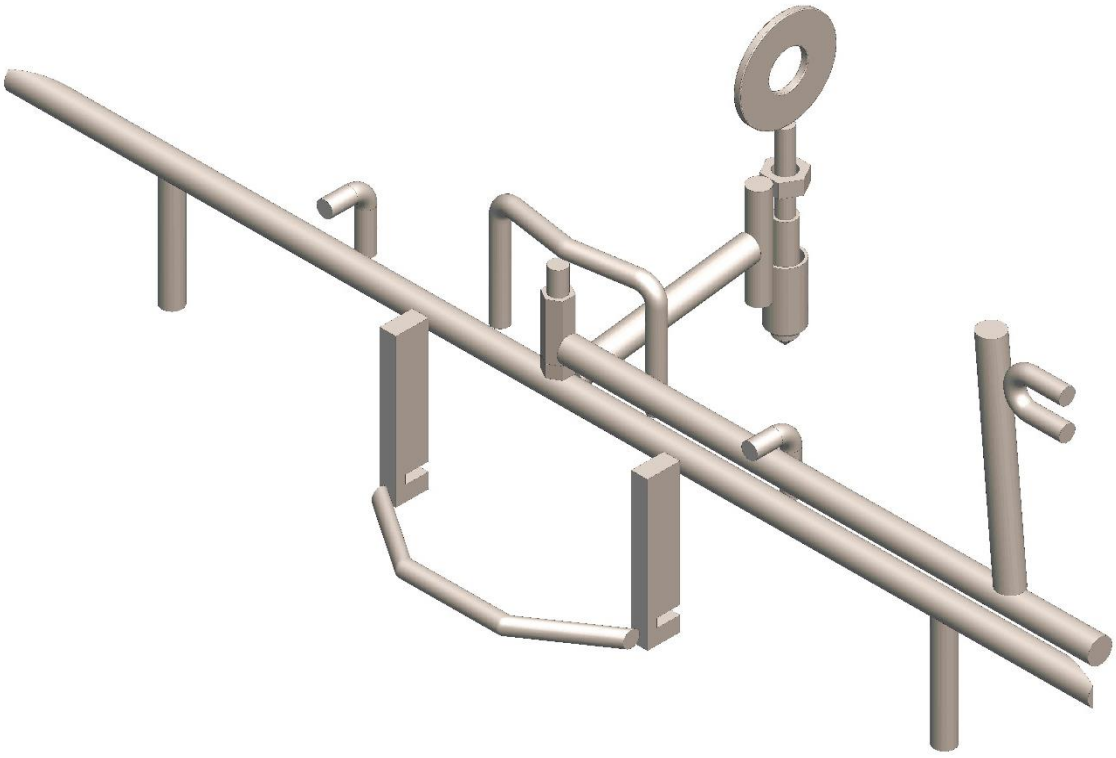


Figura 2.3.3.2.1: Representación del gancho ensamblado en Solidworks.

Capitulo III: Análisis asistido por computadora de estructuras.

3.1 Software para el análisis estructural.[53]

En la actualidad hay muchos programas para el diseño de estructuras, desde lo más sencillos, hasta lo más complejos. Por lo que es difícil decidir cuál de ellos es mejor, ya que cada uno de ellos es muy bueno en su área, por tal motivo en este apartado se enumeran algunos programas con una breve descripción, que desde el punto de vista de este autor siendo los mejores cada uno en su área de trabajo.

1. **EdiLus.**

Modelar la estructura desde el simple diseño de objetos paramétricos, realizar el análisis estático y dinámico de la estructura con un solucionador FEM integrado, visualizar gráficamente y de manera puntual los resultados del análisis, diseñar y comprobar todos los elementos de la estructura con el apoyo de un diagnóstico interactivo, producir informes, gráficos y elaborados detallados, visualizar la estructura en vista realista Real Time Rendering y navegar en el modelo BIM a través de un browser con cualquier dispositivo (BIM Voyager).

2. **EngSolutions RCB.**

EngSolutions RCB es un software de ingeniería estructural para análisis 3D y diseño de edificios de hormigón armado. Consta de varios módulos integrados en un paquete de software excepcionalmente fácil de usar. A través de la interfaz gráfica, es posible crear, analizar y diseñar fácilmente estructuras de edificios complejos

[53] La información contenida en este apartado, fue reunida a través de la experiencia y punto de vista del autor, por lo que si desea más información puede consultar el anexo 2. En el cual se exponen más programas de acuerdo a Ing. Héctor Soto Rodríguez.

para terremotos y fuerzas de viento, de acuerdo con diferentes códigos de construcción.

3. **CYPECAD.**

Ha sido concebido para realizar el diseño, cálculo, así como el dimensionado de estructuras de hormigón, metálicas para edificación y obra civil, sometidas a acciones horizontales, verticales y a la acción del fuego. Es posible incluir en la estructura de obras 3D integradas (perfiles de acero, aluminio y madera), para su dimensionamiento y optimización de secciones desde el propio CYPECAD.

4. **ETABS.**

Es un software innovador y revolucionario para análisis estructural o el dimensionamiento de edificios. Ofrece herramientas inigualables de modelado, visualización de objetos 3D, alta capacidad de poder analítico lineal y no lineal, opciones de dimensionamiento sofisticadas que abarcan una amplia gama de materiales, esclarecedores gráficos, informes, así como diseños esquemáticos que facilitan la comprensión del análisis de los respectivos resultados.

5. **AUTODESK ROBOT.**

Una completa solución destinada al cálculo de estructuras que interconecta el análisis sencillo o avanzado, con el diseño para cualquier material, todo ello bajo una intuitiva interfaz. Es versátil y rápido, comparte modelos de información (BIM), calcula modelos simples o complejos. Con sus herramientas para auto-mallado de elementos finitos, algoritmos no lineales, una amplia colección de normas de diseño internacionales de acero, madera y hormigón, permite un flujo de trabajo colaborativo. La interoperabilidad con enlaces bidireccionales en 3D a productos complementarios de Autodesk. Además, junto con una interfaz de programación de

aplicaciones (API) abierta proporciona una solución escalable de análisis específicos de cada país para diferentes tipos de estructuras, incluyendo edificios, puentes, civiles y estructuras especiales.

6. **SAP 2000.**

Es un programa de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento de lo más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras. Además, es posible generar automáticamente cargas de sismo, viento, vehículos para posteriormente hacer el dimensionamiento, así como la comprobación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, a través de las normativas Europeas, Americanas, Canadienses, Turcas, Indias, Chinas, entre otras más.

7. **STAAD. PRO v8.**

Realice un análisis y diseño exhaustivo para cualquier tamaño o tipo de estructura. Simplifique su flujo de trabajo BIM utilizando un modelo físico en STAAD.Pro que se convierte automáticamente en el modelo analítico para su análisis estructural. Comparta modelos sincronizados con confianza para la colaboración del equipo multidisciplinario y, lo más importante, entregar diseños seguros y rentables. Confíe en el diseño a base de acero, concreto, madera, aluminio y estructuras de acero conformadas en frío en cualquier parte del mundo, utilizando más de 90 códigos de diseño internacionales incluidos, independientemente.

9. **AutoCAD**

AutoCAD es un software de diseño asistido por computadora (CAD) en el cual se apoyan tanto arquitectos, como ingenieros y profesionales de la construcción para

crear dibujos precisos en 2D y 3D. Cuenta con funciones avanzadas para la creación de planos de manera intuitivamente, así como la facilidad de manejar planos isométricos sin ningún problema.

3.1.1 Solidworks como software para diseño.

Como anteriormente se menciona, existen muchos softwares para el diseño estructural cada uno de ellos mejor en su campo de aplicación. Pero sin duda existen algunos otros softwares los cuales tienen un gran campo de aplicación por su diversas funciones y especificaciones, que manejan como lo es Solidworks diversas instituciones los utilizan por su gran procesado de piezas y fiabilidad de diseño. A continuación, se describirá brevemente.

Solidworks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas o planos de manufactura (2D) y ensamblajes en 3D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo de un producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.[54]

3.2 Simulación de piezas en Solidworks.

Las imágenes que se mostraran a continuación son el resultado de la simulación, correspondiente a cada una de las piezas más importantes, en algunas de ellas se tomó como un conjunto de piezas ya que es así como se llevara acabó realmente.

Las piezas las cuales se realizará una simulación de fuerzas estáticas serán las siguientes:

1. Conjunto del brazo del gancho.
2. Conjunto de la pija.
3. Conjunto de la base con sus complementos estáticos.

[54] Tomado de: https://solid-bi.es/solidworks

En las imágenes que se mostraran a continuación son los resultados de las simulaciones de fuerzas tomando como criterio los siguientes puntos:

1. La carga de trabajo será de 100N.
2. El factor de seguridad debe ser mayor a 1 para considerarse como pieza fiable.
3. Los esfuerzos de Von Mises no deben de superar el límite de ruptura (tracción) del material o en su defecto no deben de ser mayor a 300 MPa (N/mm^2).
4. Las características del acero a emplear se muestran en la figura 3.2.1.

Acero ASTM A36						
Modulo elástico (N/mm^2)	Coeficiente de Poisson	Densidad de masa (Kg/m^3)	Limite elástico (N/mm^2)	Limite a la tracción (N/mm^2)	Modulo cortante (N/mm^2)	Tipo de modelo
200,000	0.26	7,850	250	400	79,300	Isotrópico elástico lineal

Figura 3.2.1: Propiedades mecánicas del acero ASTM A 36 en Solidworks.

3.2.1 Simulación del brazo conjunto.

Para el conjunto del brazo se le aplicara una carga de 100N en forma vertical y horizontal a lo largo de la pieza 6 de la sección 2.3.1. A continuación se mostrarán los resultados.

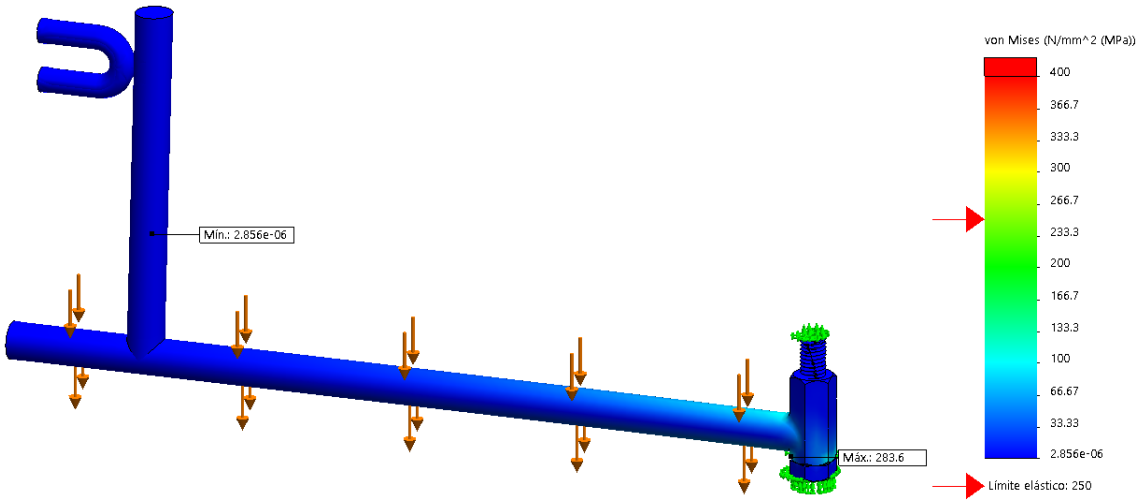


Figura 3.2.1.1: Fuerza vertical de 100N y esfuerzos de Von Mises.

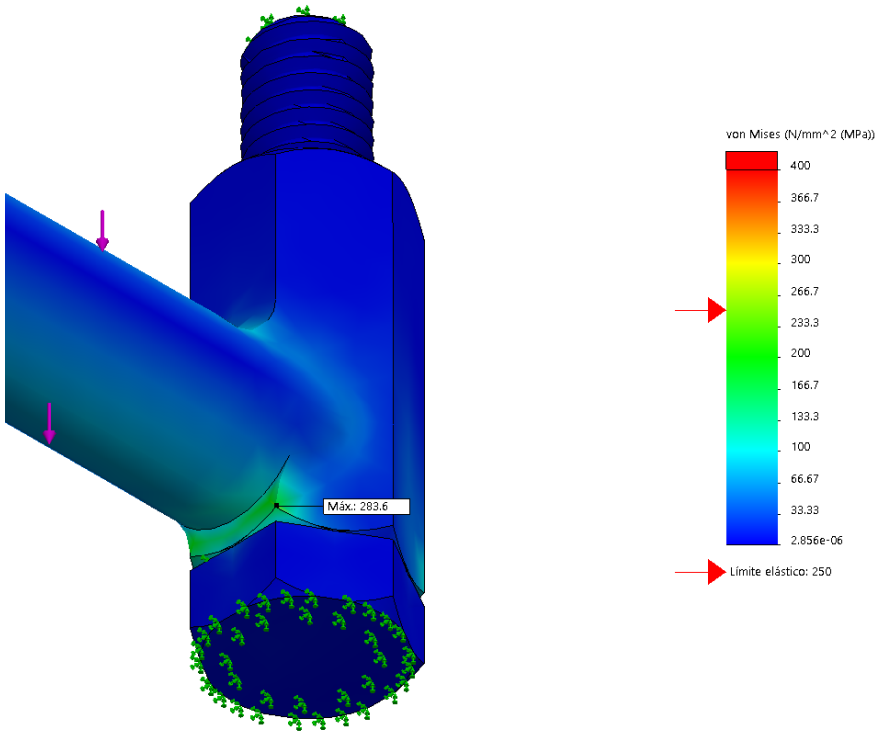


Figura 3.2.1.2: Esfuerzo máximo de Von Mises por la fuerza vertical de 100N.

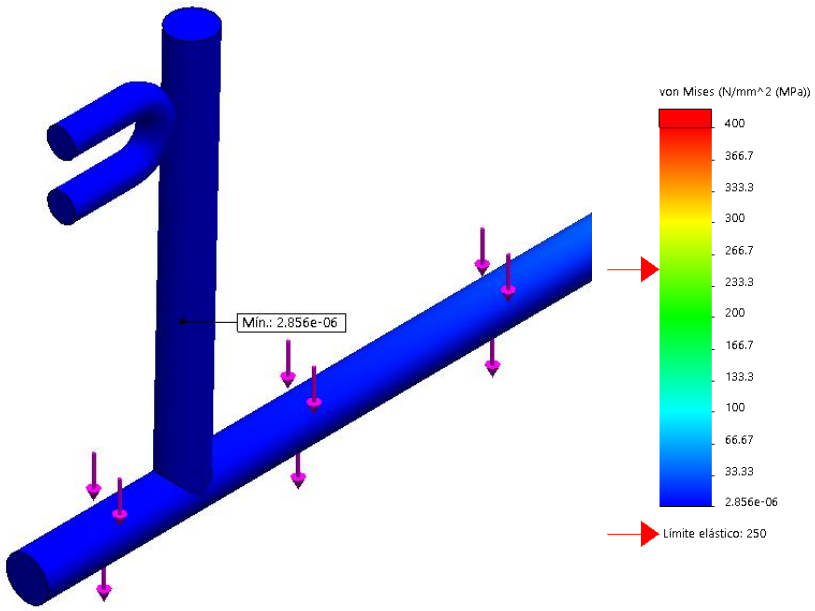


Figura 3.2.1.3: Esfuerzo mínimo de Von Mises por la fuerza vertical de 100N.

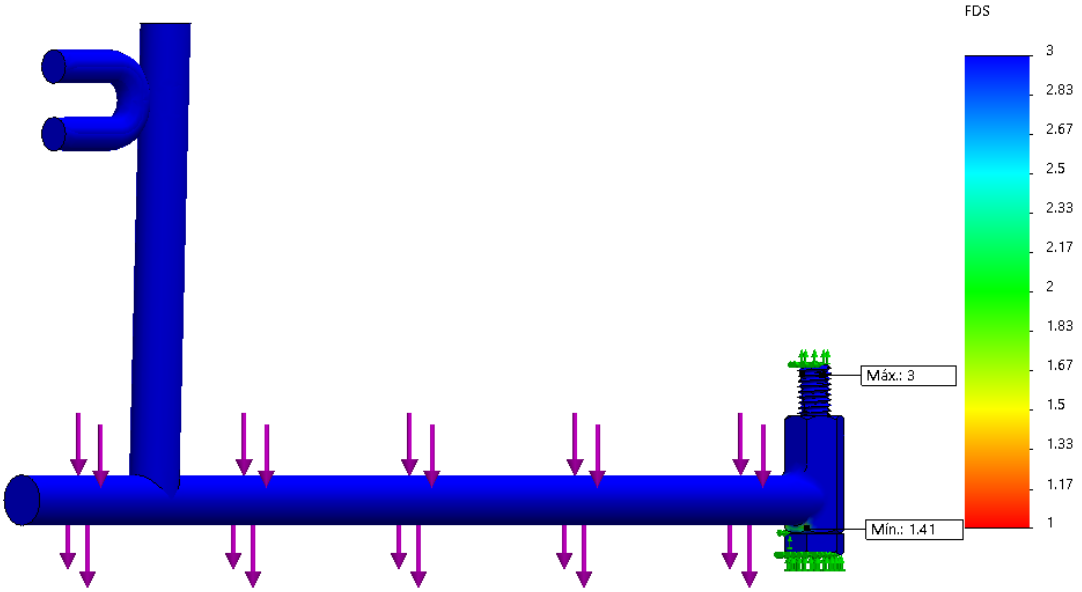


Figura 3.2.1.4: Factor de seguridad máximo y mínimos correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

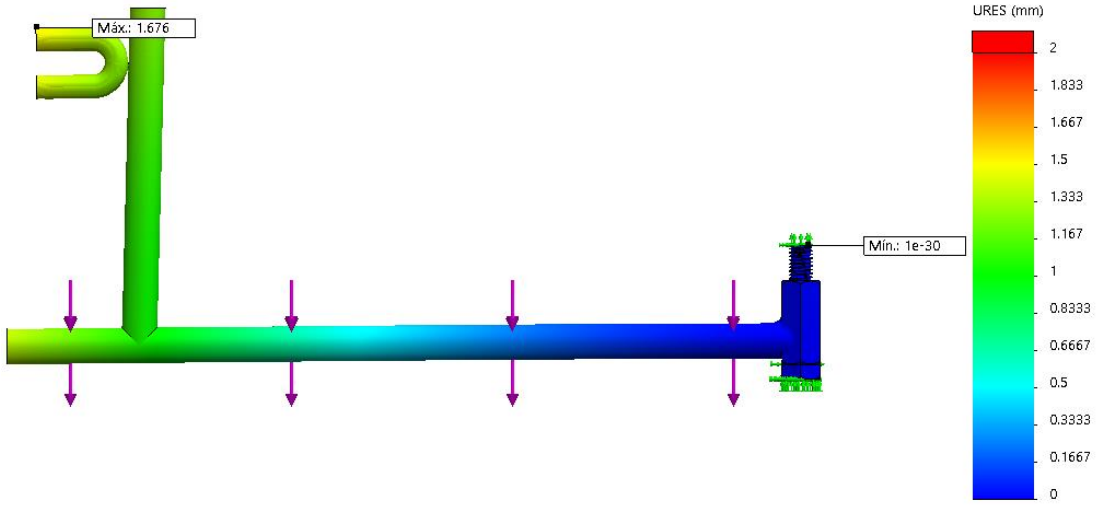


Figura 3.2.1.5: Desplazamientos máximos y mínimos correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

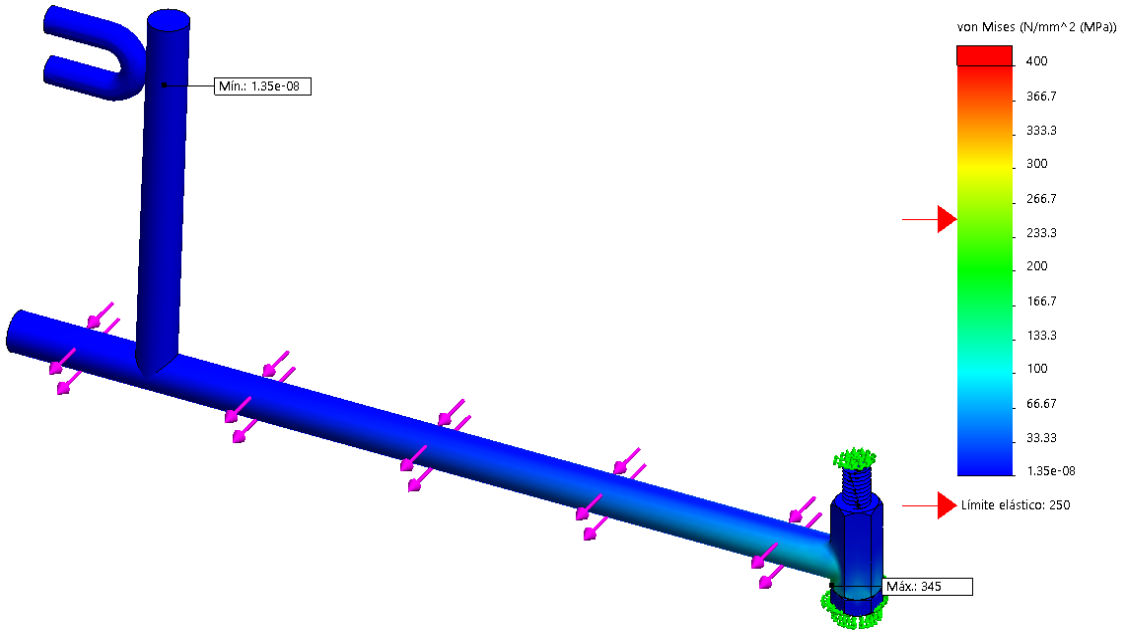


Figura 3.2.1.6: Fuerza horizontal de 100N y esfuerzos de Von Mises.

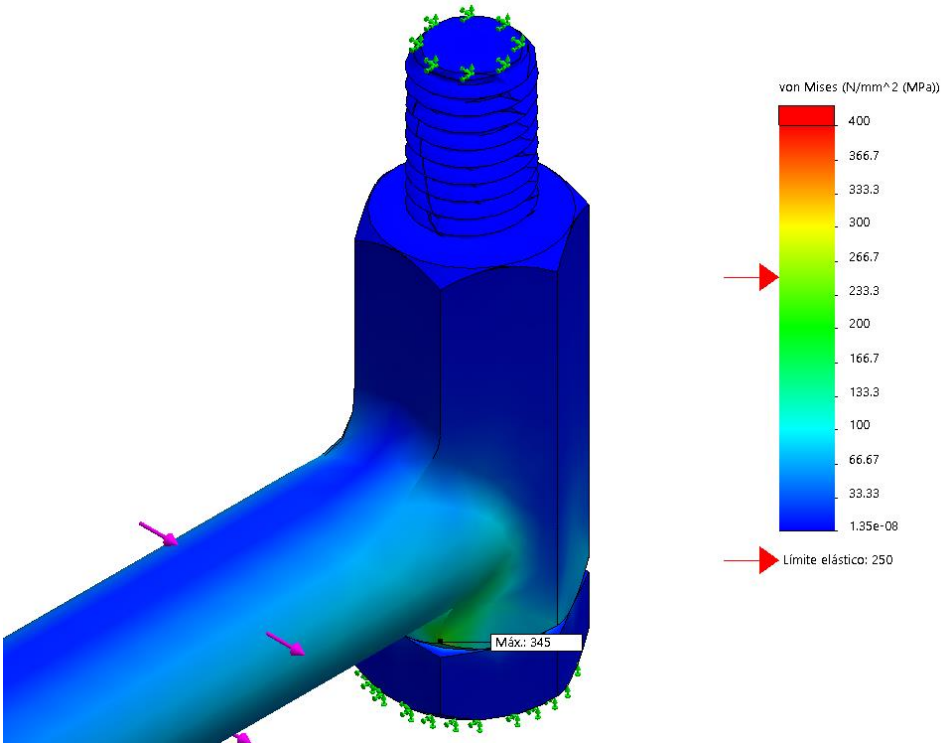


Figura 3.2.1.7: Esfuerzo máximo de Von Mises por la fuerza horizontal de 100N.

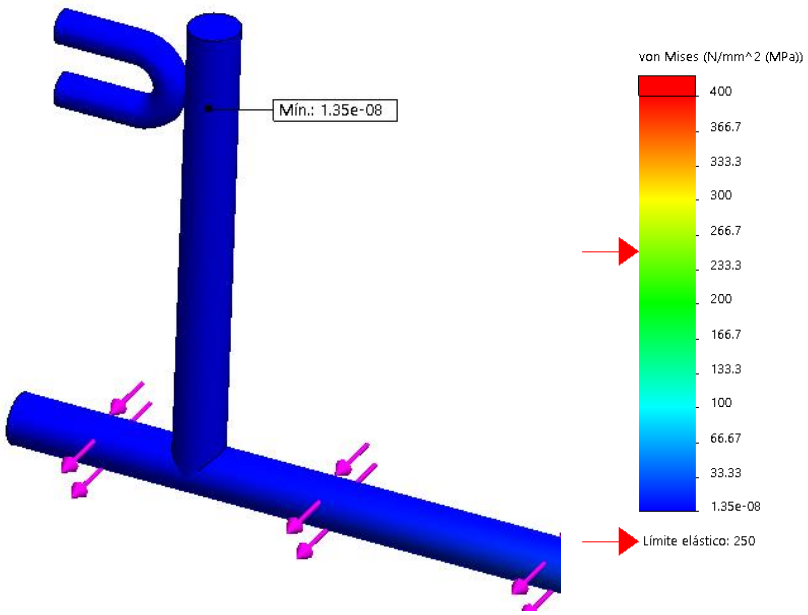


Figura 3.2.1.8: Esfuerzo mínimo de Von Mises por la fuerza horizontal de 100N.

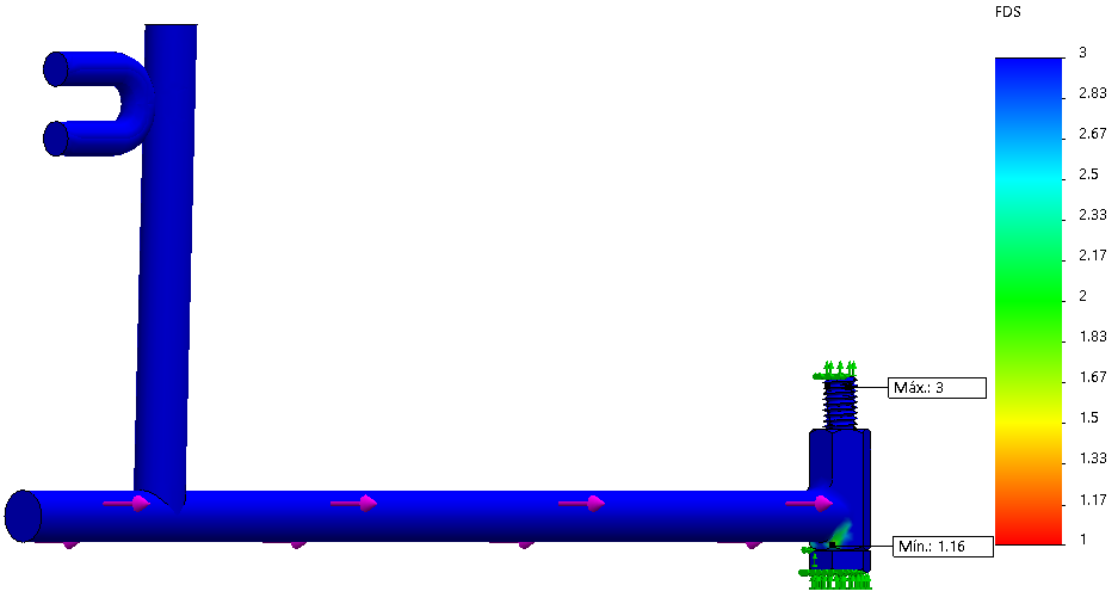


Figura 3.2.1.9: Factor de seguridad máximo y mínimo correspondiente por la fuerza horizontal de 100N.

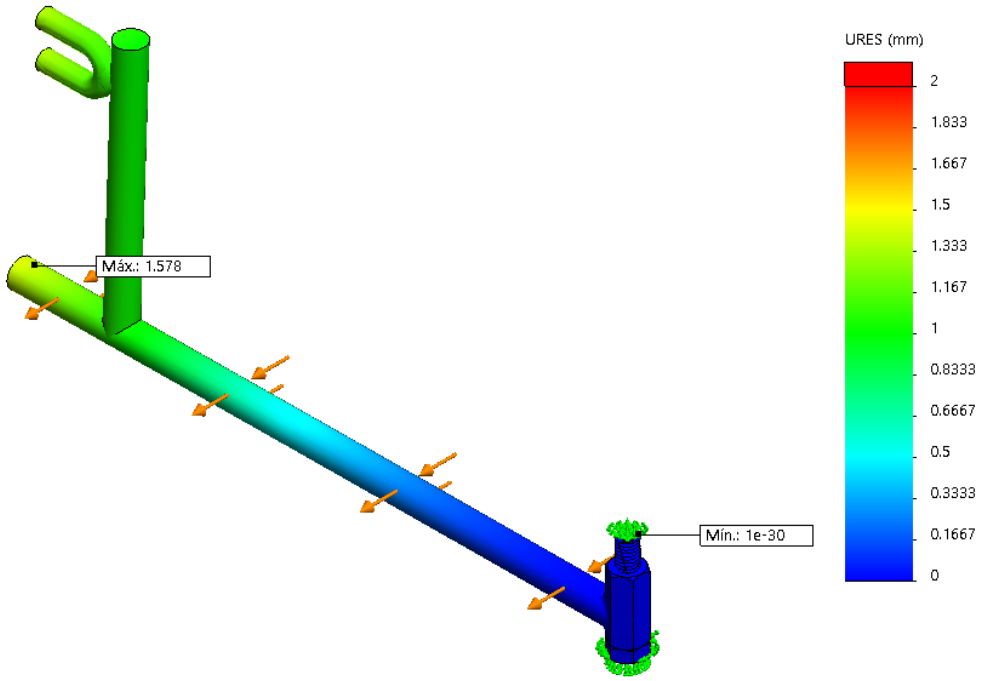


Figura 3.2.1.10: Desplazamientos máximos y mínimos correspondientes por la fuerza horizontal de 100N.

3.2.2 Simulación de la pija conjunto.

Para el conjunto de la pija se le aplicara una carga de 100N en forma vertical en la pieza 3 de la misma forma una fuerza vertical/horizontal en la pieza 16 de la sección 2.3.1. A continuación se mostrarán los resultados.

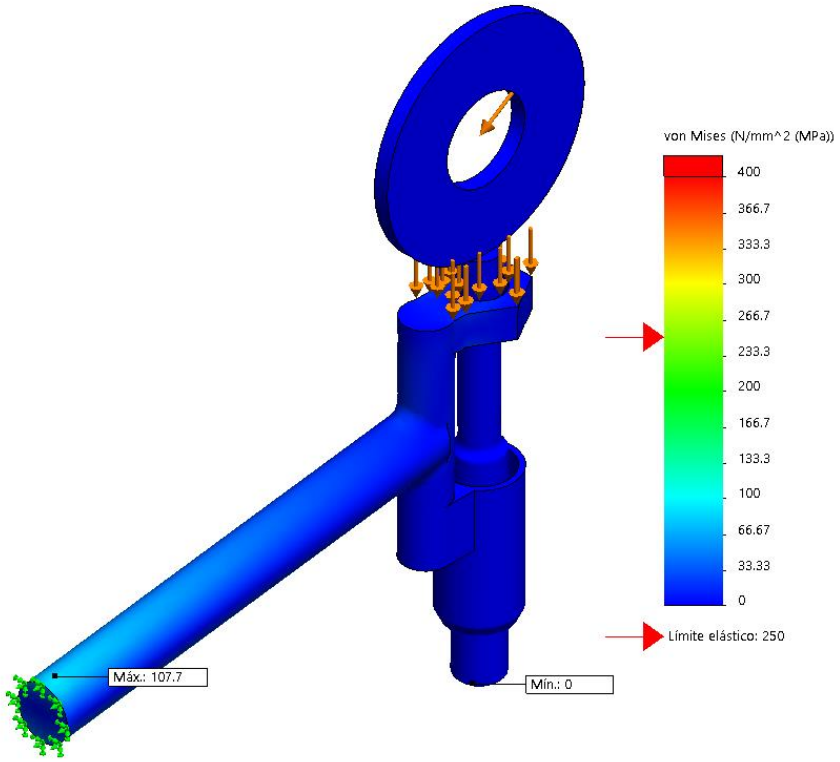


Figura 3.2.2.1: Esfuerzos máximos y mínimos de Von Mises correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

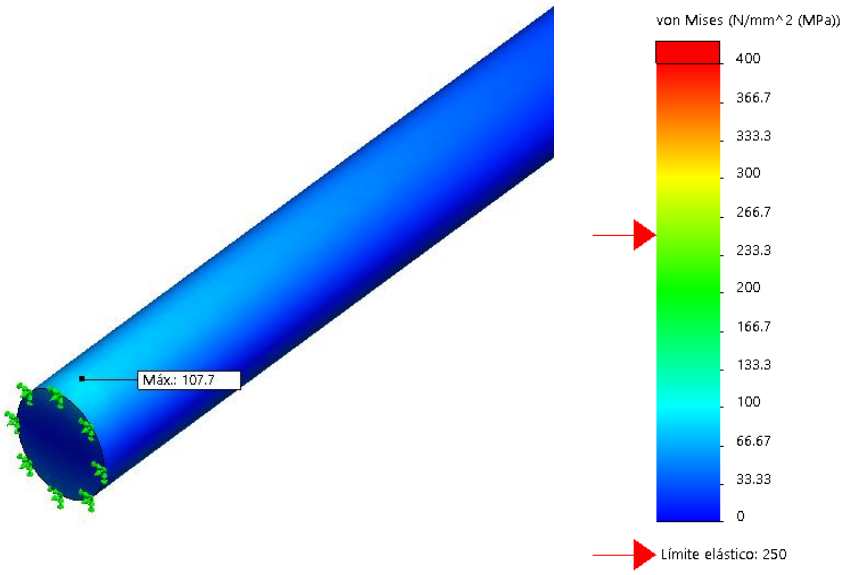


Figura 3.2.2.2: Esfuerzo máximo de Von Mises correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

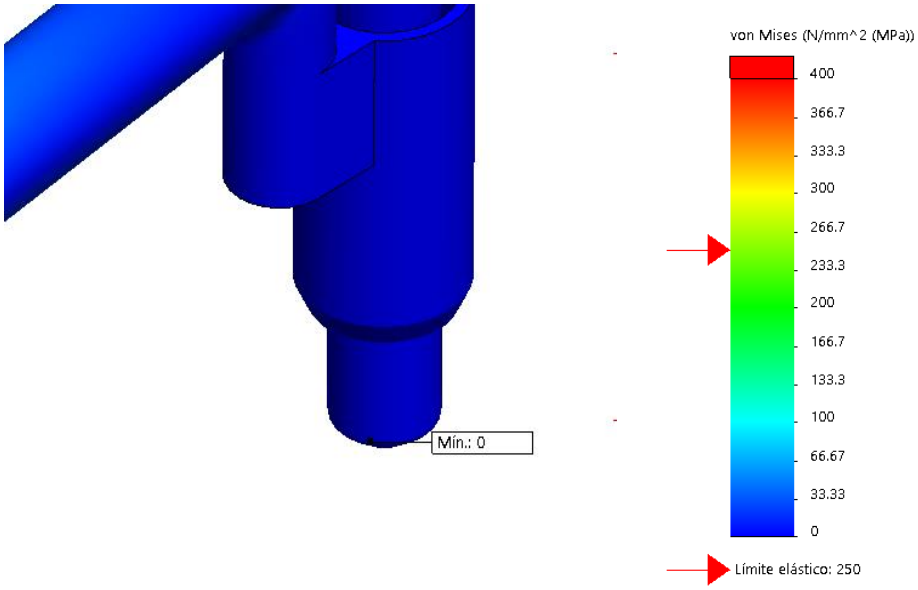


Figura 3.2.2.3: Esfuerzo mínimo de Von Mises correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

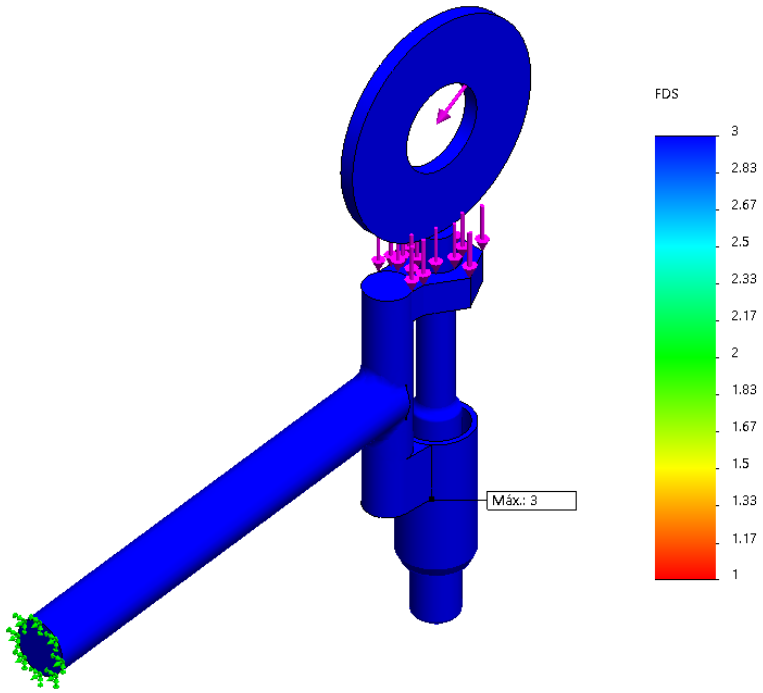


Figura 3.2.2.4: Factor de seguridad máximo y mínimos correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

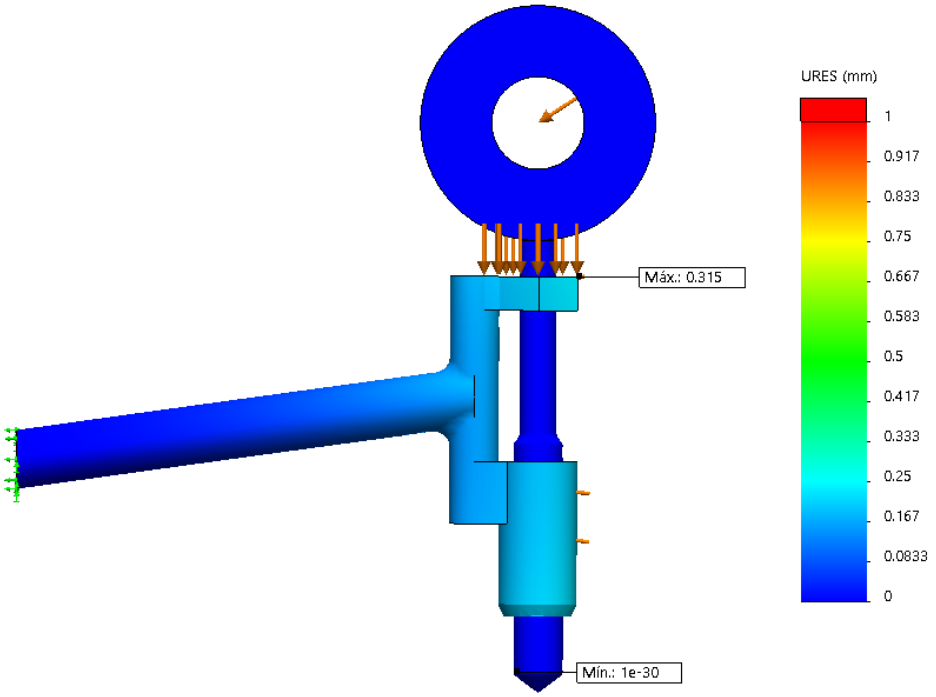


Figura 3.2.2.5: Desplazamientos máximos y mínimos correspondientes por la fuerza vertical de 100N.

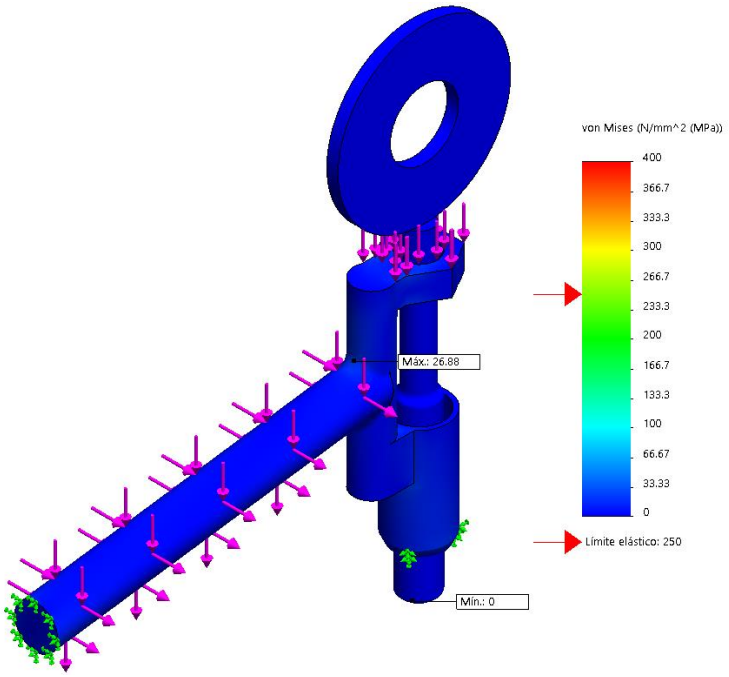


Figura 3.2.2.6: Esfuerzos máximos y mínimos de Von Mises correspondientes por el conjunto de fuerzas de 100N.

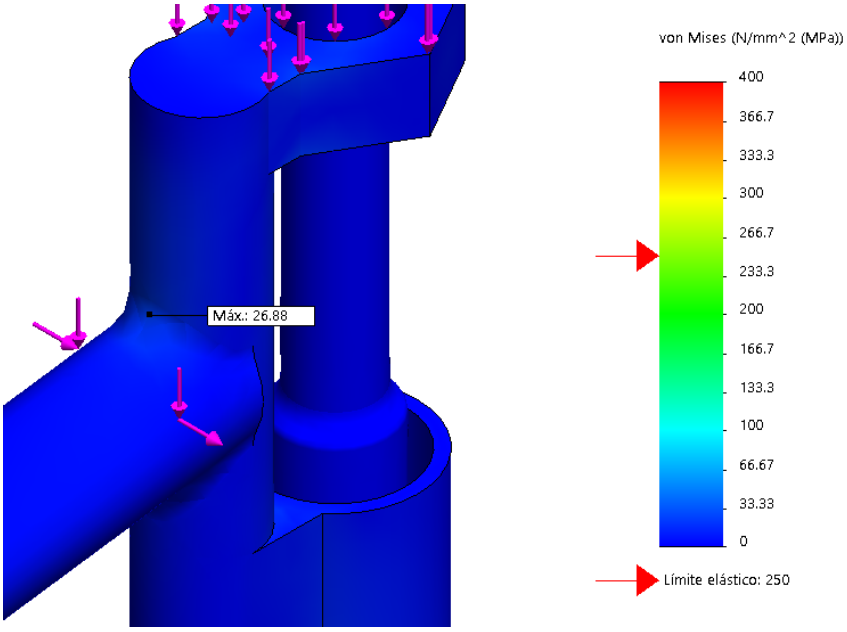


Figura 3.2.2.7: Esfuerzo máximo de Von Mises correspondientes por el conjunto de fuerzas de 100N.

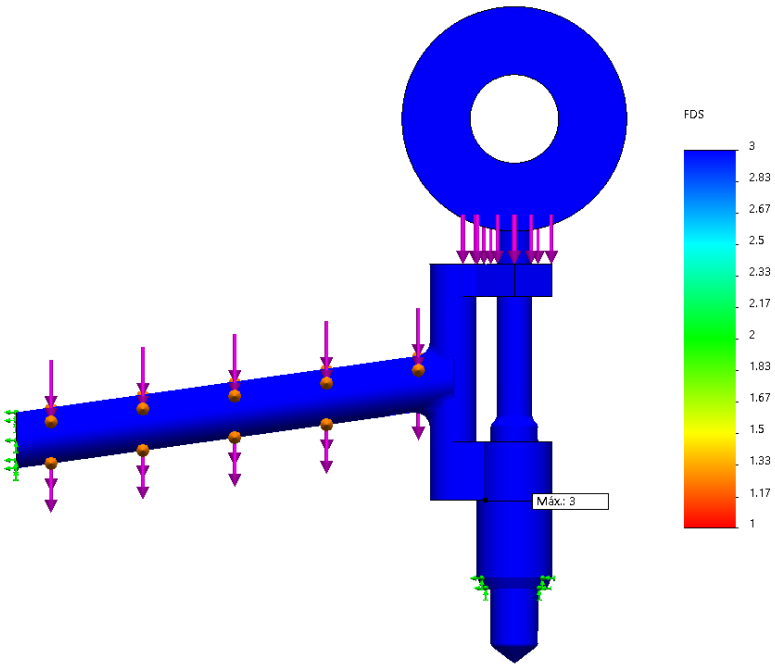


Figura 3.2.2.8: Factor de seguridad máximos y mínimos correspondientes por el conjunto de fuerzas de 100N.

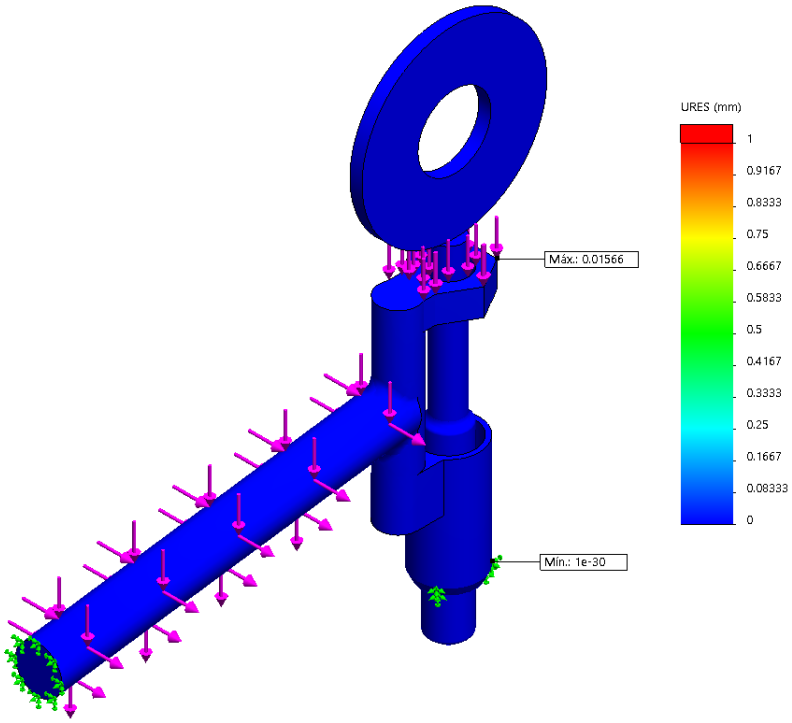


Figura 3.2.2.9: Desplazamientos máximos y mínimos correspondientes por el conjunto de fuerzas de 100N.

3.2.3 Simulación del conjunto de la base.

Para el conjunto de la base se le aplicarán cargas de 500N de manera vertical, horizontal y lineal en la pieza 9 de la sección 2.3.1. A continuación se mostrarán los resultados.

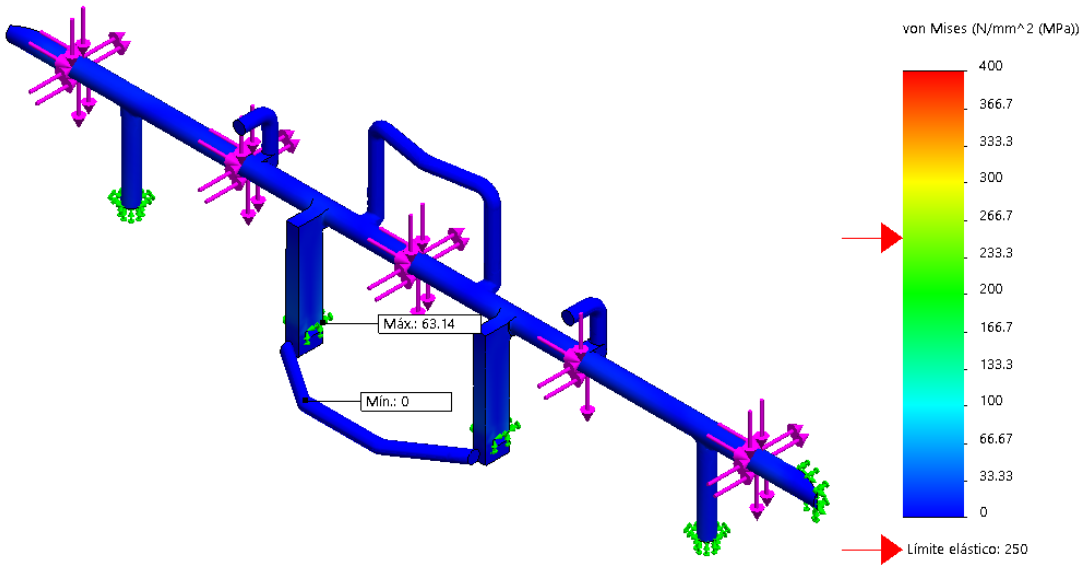


Figura 3.2.3.1: Esfuerzos máximos y mínimos correspondientes por el conjunto de fuerzas de 500N.

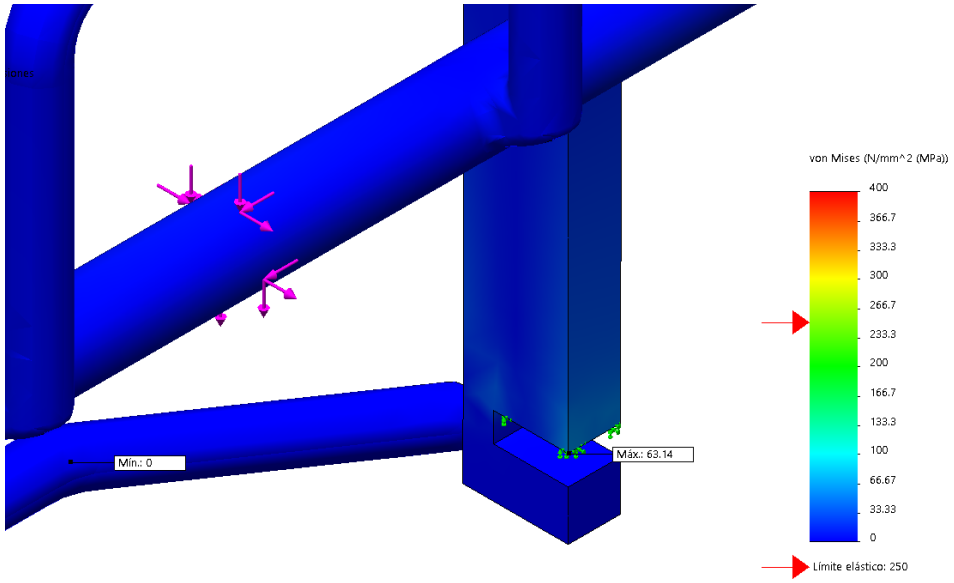


Figura 3.2.3.2: Esfuerzo máximo correspondientes por el conjunto de fuerzas de 500N.

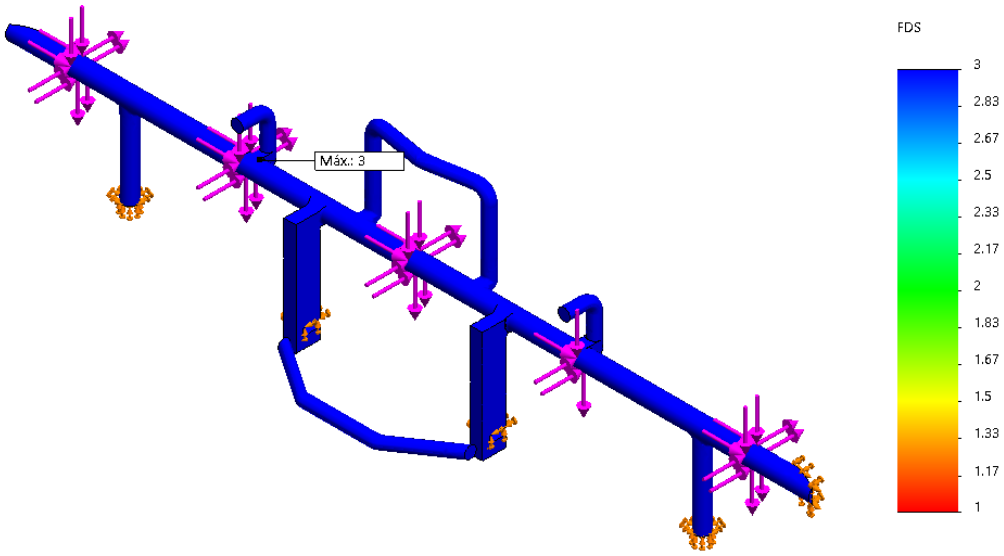


Figura 3.2.3.3: Factor de seguridad máximos y mínimos correspondientes por el conjunto de fuerzas de 500N.

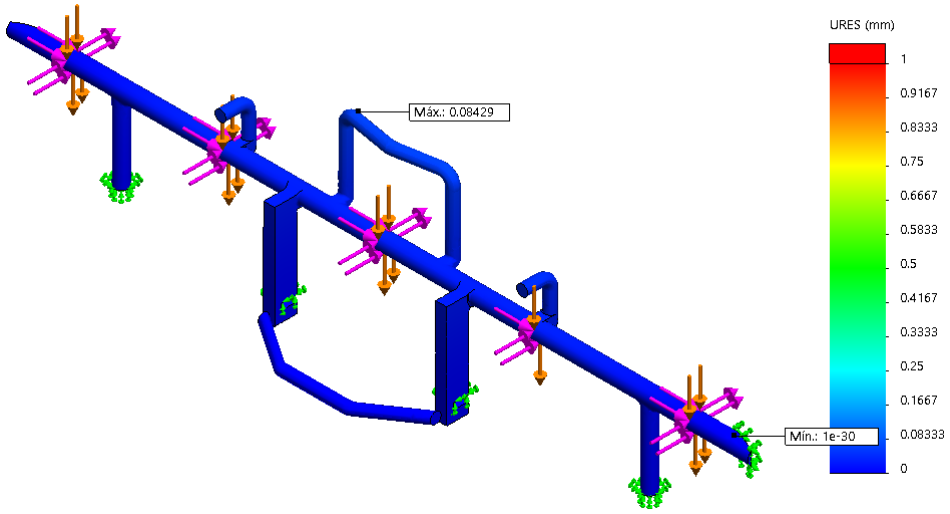


Figura 3.2.3.4: Desplazamientos máximos y mínimos correspondientes por el conjunto de fuerzas de 500N.

3.3 Interpretación del análisis de resultados.

De acuerdo a los resultados previamente obtenidos de las simulaciones estáticas, se destaca dos criterios fundamentales para la evaluación de un buen diseño, como lo es **Modelo de plasticidad de Von Mises**, de la misma manera el **factor de seguridad.** Dichos criterios son fundamentales para un buen diseño y funcionamiento óptimo.

El Modelo de plasticidad de Von Mises o criterio de flexibilidad[55] se escribe de la forma siguiente:

$$F = \sqrt{3}\sigma - \sigma_Y = 0 \text{ (Ecu. 3.2.1.1)}$$

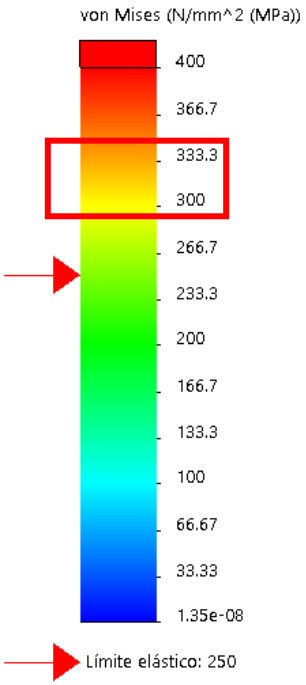


Figura 3.3.1: Modulo de Von Mises para el acero ASTM A 36.

donde σ es la tensión efectiva y σ_Y es el límite elástico de las pruebas uniaxiales.

El modelo Von Mises se puede utilizar para describir el comportamiento de los metales. Al utilizar este modelo de material, debe considerarse lo siguiente:

1. Se supone la existencia de plasticidad con una deformación unitaria pequeña cuando se utiliza un desplazamiento pequeño o grande.
2. Se crea una suposición de regla de flujo asociada.
3. Hay reglas de endurecimiento isotrópico y cinemático disponibles. Se implementa una combinación lineal de endurecimiento isotrópico y cinemático cuando tanto el radio como el

[55]http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/Materials/Material_models/von_Mises_Plasticity_Model

centro de la superficie elástica en espacio desviatorio pueden variar con respecto al historial de carga.

Normalmente el módulo de Von Mises está representado por el material a utilizar, cada material pose diferentes límites elásticos, en nuestro caso es acero ASTM A 36 el límite elástico es de 250 N/mm^2 (dato que maneja SolidWorks) tal cual como se observa en la figura 3.3.1. Otros datos que el software maneja se pueden apreciar en la figura 3.2.1 de la sección 3.2.

La interpretación de las simulaciones que se tomará será a acuerdo a la escala mostrada en la figura 3.3.1, asumiendo como un valor intermedio de 200 N/mm^2 y un valor máximo de 300 N/mm^2 (tonalidad **amarilla** 75%), debido a que una tolerancia mayor podría producir una ruptura por fatiga, debido al acercase más al límite de ruptura, con esta acción aumentamos la vida útil y el factor de seguridad del gancho. A continuación, mostraremos un resumen detallado de las simulaciones la cual se pueden apreciar en la figura 3.3.2.

Pieza	Dirección de carga	Carga (N)	Esfuerzos de Von Mises (MPa)		Factor de seguridad		Desplazamientos (mm)	
			Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
Brazo	Vertical en el eje Z	100	283.6	0.0000002856	3	1.41	1.676	$1x10^{-30}$
	Horizontal en el eje X	100	345	0.0000000135	3	1.16	1.578	$1x10^{-30}$
Pija	Vertical en el eje Z	100	107.7	0	3	3	0.315	$1x10^{-30}$
	Vertical en el eje Z Horizontal en el eje Y	100	26.88	0	3	3	0.01516	$1x10^{-30}$
Base	Vertical en el eje Z Horizontal en el eje Y	500	63.14	0	3	3	0.08429	$1x10^{-30}$

Figura 3.3.2: Resumen de las simulaciones estáticas de las piezas.

Como podemos observar cada conjunto cumple perfecta los citeriores establecidos anteriormente en el apartado 3.2. Quizás la pieza más crítica es el brazo ya que los esfuerzos de Von Mises pasan por arriba de los 300, pero hay que recalcar que esta pieza tiene movimiento por lo cual, la fuerza aplicada será trasmita al mecanismo,

por lo que los esfuerzos se reducirán considerablemente, puesto que dicha pieza tiene un punto de apoyo más con la pieza 10 del apartado 3.2.1, lo que le brinda una mayor resistencia y reduciendo los esfuerzos. De hecho, el miso cliente ha recalcado que esa pieza específicamente debe tener una cierta “resistencia al movimiento” por el motivo de que, al uso continuo, la pieza numero 10 se desgasta lo que la resistencia al movimiento se pierde y el brazo se ve afectado por no poder quedar ajustado y teniendo un “juego” muy notable, lo que provoca que el gancho quede inservible. Por tal motivo, para intentar disminuir esta falla, se optó por disminuir o aumentar la tolerancia mostrada en el plano 08 de la sección 2.3.2. Las demás piezas lo que podemos decir es que cumplen perfectamente con los criterios sin ningún problema.

El **factor de seguridad (FDS)** está relacionado con el módulo de Von Mises que se expresa de la siguiente manera:

$$FDS = \frac{Límite\ ruptura\ del\ mateial}{Esfuerzo\ máximo\ de\ Von\ Misses} = 1 \text{ (Ecu. 3.3.1.)}$$

Hay que recalcar que el FDS siempre debe ser igual a uno, por lo que un número inferior no significa que dicho diseño no sirva, sino que en algún momento dicha pieza pueda fallar por un esfuerzo de fatiga o ruptura. De igual forma, un número superior a uno significa que dicha pieza esta con un gran margen de tolerancia para evitar que falle. No significa que durará toda la vida, ya que a lo largo de su vida útil se enfrenta a un uso continuo y constantes esfuerzos que al final esto influirá para determinar su durabilidad.

Al obtener un FDS mayor a uno, se garantiza que los esfuerzos máximos de Von Mises no superan el límite de ruptura, por lo que la pieza que se obtendrá, tendrá la seguridad de no sufrir un fallo por ruptura.

Capítulo IV: Implementación de resultados.

4.1 Procedimiento de ensamblaje del gancho.

Una vez que el gancho haya pasado las pruebas de simulación exitosamente en SolidWorks, se procede a realizar el proceso de ensamblaje del mismo. En este capítulo hablaremos sobre el procedimiento que se lleva a cabo para la elaboración del gancho, como el trabajo, selección del material, el tipo de soldadura empleado, los problemas enfrentados y los errores más comunes durante el proceso.

4.1.1 Elaboración de las piezas.

Las piezas que se utilizaran en este proceso se muestran a continuación de la misma manera se describen como será su elaboración y descripción del proceso.

Nota: Tener en cuenta que las piezas previamente fueron cortadas conforme a las medidas indicadas en los planos en la sección 2.3.2. Por lo que el proceso de corte no será mencionado, ya que en dicho proceso se utilizó una cortadora de metales (Cortadora Bosch GCO 2000 Professional) para el corte de todas las piezas.

4.1.1.1 Materiales empleados.

Las piezas fabricadas fueron basadas en la norma de calidad comercial **ASTM A 36 (excepto la tornillería)**. Para la tornillería se tomarán los estándares que nos proporciona el fabricante. A continuación, de exponen las tablas en las que se basaran los materiales empleados (estos se encuentran remarcados en rojo).

1. Redondo no pulido (Figura 4.1.1.1.1)
2. Redondo pulido (Figura 4.1.1.1.2)
3. Solera (Figura 4.1.1.1.3)

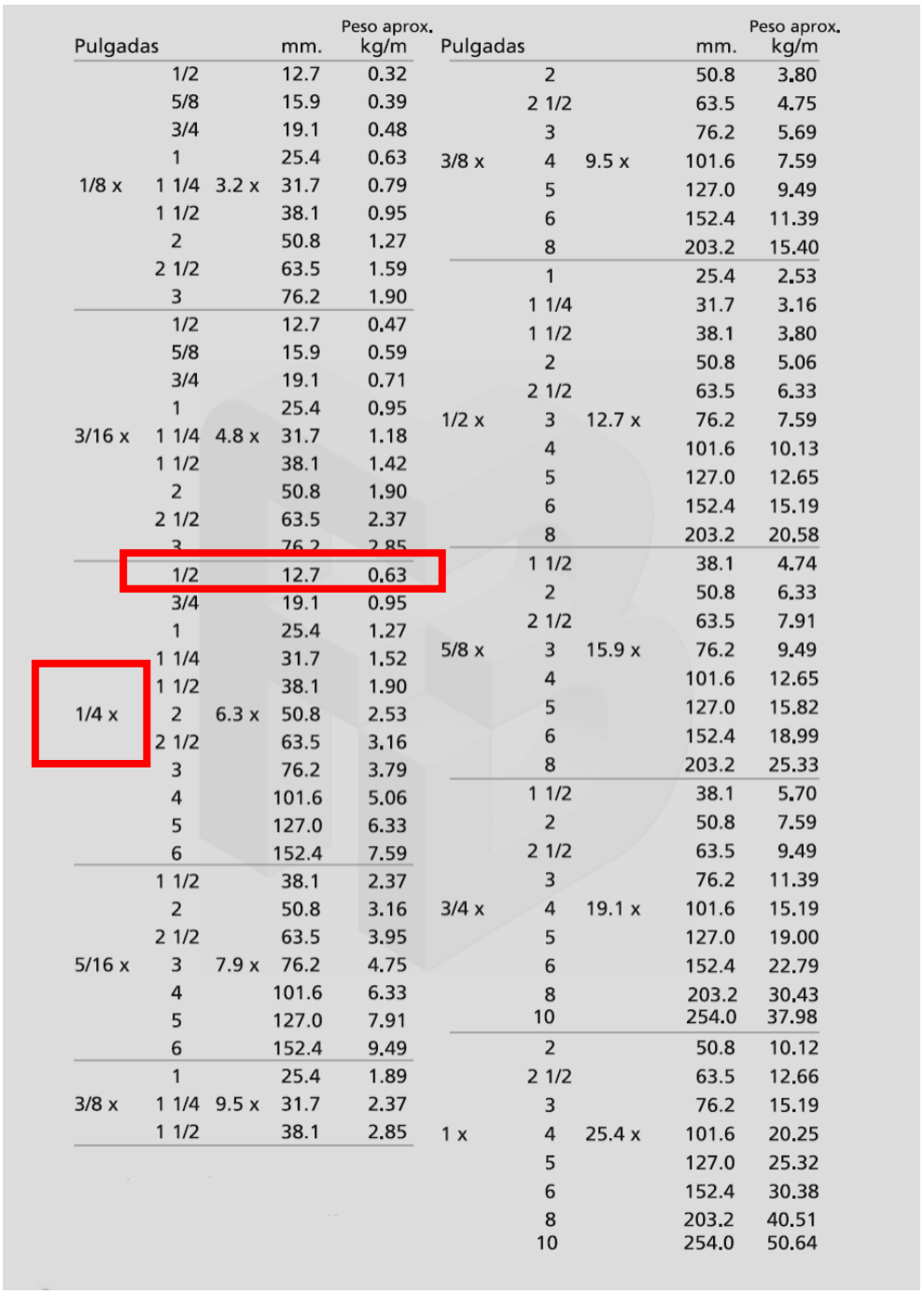
4. Tubo (Figura 4.1.1.1.4)
5. Tornillo (Figura 4.1.1.1.5)
6. Tuerca (Figura 4.1.1.1.6)
7. Rondana/Arandela (Figura 4.1.1.1.7)
8. Cople hexagonal (Figura 4.1.1.1.8)
9. Tuerca de conexión hexagonales (Figura 4.1.1.1.9)

Pulgadas	Milímetros	Peso aprox. kg/m	kgs Pz. 6.10m
3/8	9.5	.559	3.41
7/16	11.1	.760	4.64
1/2	12.7	.994	6.06
9/16	14.3	1.257	7.67
5/8	15.9	1.552	9.47
11/16	17.5	1.878	11.46
3/4	19.1	2.235	13.63
13/16	20.6	2.624	16.01
7/8	22.2	3.042	18.56
15/16	23.8	3.493	21.31
1	25.4	3.974	24.24
1 1/8	28.6	5.029	30.68
1 1/4	31.8	6.211	37.89
1 3/8	34.9	7.552	46.07
1 1/2	38.1	9.000	54.90
1 5/8	41.3	10.494	64.01
1 3/4	44.5	12.170	74.24
1 7/8	47.7	13.970	85.22
2	50.8	15.900	96.99

Figura 4.1.1.1.1: Tabla de redondos no pulidos comerciales.

Pulgadas	Milímetros	Peso aprox. kg/m	kgs Pz. 6.00m
3/16	4.8	.143	0.858
1/4	6.3	.249	1.494
5/16	7.9	.388	2.328
3/8	9.5	.559	3.354
1/2	12.7	.994	5.964

Figura 4.1.1.1.2: Tabla de redondos pulidos comerciales.



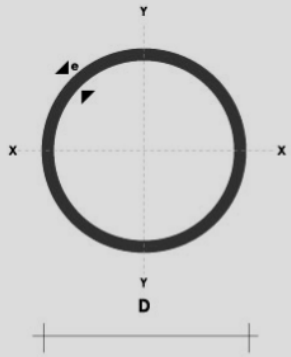
Pulgadas			mm.	Peso aprox. kg/m
	1/2		12.7	0.32
	5/8		15.9	0.39
	3/4		19.1	0.48
	1		25.4	0.63
1/8 x	1 1/4	3.2 x	31.7	0.79
	1 1/2		38.1	0.95
	2		50.8	1.27
	2 1/2		63.5	1.59
	3		76.2	1.90
	1/2		12.7	0.47
	5/8		15.9	0.59
	3/4		19.1	0.71
	1		25.4	0.95
3/16 x	1 1/4	4.8 x	31.7	1.18
	1 1/2		38.1	1.42
	2		50.8	1.90
	2 1/2		63.5	2.37
	3		76.2	2.85
	1/2		12.7	0.63
	3/4		19.1	0.95
	1		25.4	1.27
	1 1/4		31.7	1.52
	1 1/2		38.1	1.90
1/4 x	2	6.3 x	50.8	2.53
	2 1/2		63.5	3.16
	3		76.2	3.79
	4		101.6	5.06
	5		127.0	6.33
	6		152.4	7.59
	1 1/2		38.1	2.37
	2		50.8	3.16
	2 1/2		63.5	3.95
5/16 x	3	7.9 x	76.2	4.75
	4		101.6	6.33
	5		127.0	7.91
	6		152.4	9.49
	1		25.4	1.89
3/8 x	1 1/4	9.5 x	31.7	2.37
	1 1/2		38.1	2.85

Pulgadas			mm.	Peso aprox. kg/m
	2		50.8	3.80
	2 1/2		63.5	4.75
	3		76.2	5.69
3/8 x	4	9.5 x	101.6	7.59
	5		127.0	9.49
	6		152.4	11.39
	8		203.2	15.40
	1		25.4	2.53
	1 1/4		31.7	3.16
	1 1/2		38.1	3.80
	2		50.8	5.06
	2 1/2		63.5	6.33
1/2 x	3	12.7 x	76.2	7.59
	4		101.6	10.13
	5		127.0	12.65
	6		152.4	15.19
	8		203.2	20.58
	1 1/2		38.1	4.74
	2		50.8	6.33
	2 1/2		63.5	7.91
5/8 x	3	15.9 x	76.2	9.49
	4		101.6	12.65
	5		127.0	15.82
	6		152.4	18.99
	8		203.2	25.33
	1 1/2		38.1	5.70
	2		50.8	7.59
	2 1/2		63.5	9.49
	3		76.2	11.39
3/4 x	4	19.1 x	101.6	15.19
	5		127.0	19.00
	6		152.4	22.79
	8		203.2	30.43
	10		254.0	37.98
	2		50.8	10.12
	2 1/2		63.5	12.66
	3		76.2	15.19
1 x	4	25.4 x	101.6	20.25
	5		127.0	25.32
	6		152.4	30.38
	8		203.2	40.51
	10		254.0	50.64

Figura 4.1.1.1.3: Tabla de soleras comerciales.

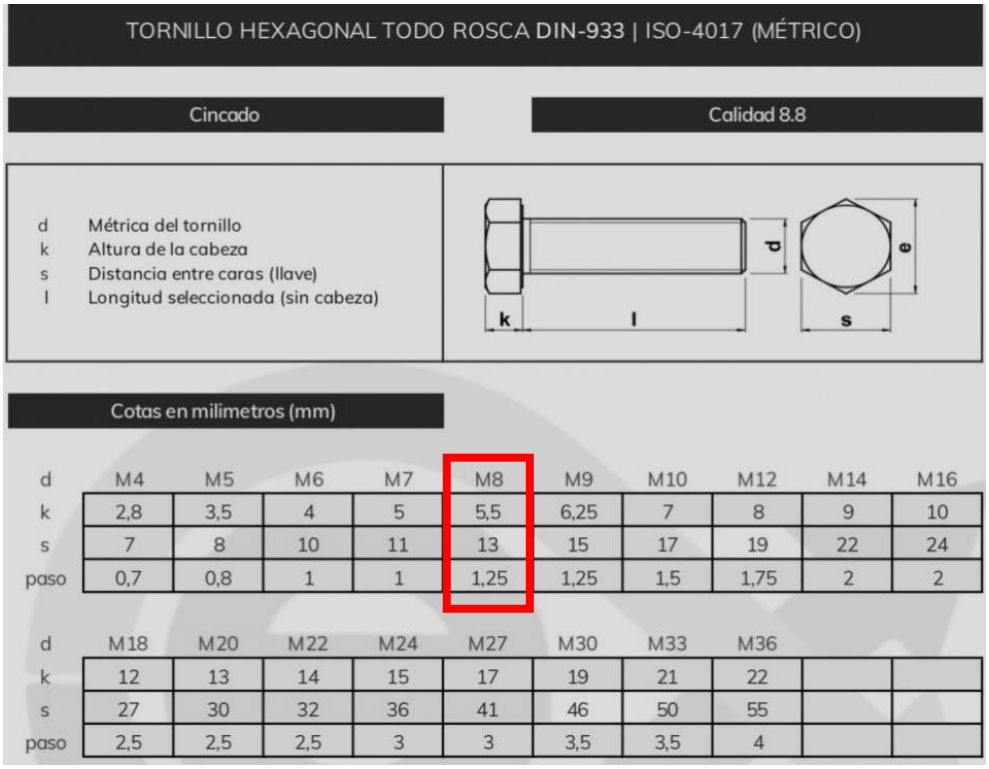
NOMENCLATURA

Área = Área de la selección transversal del tubo, cm2
I= Momento de inercia de la sección, cm4
W= Módulo resistente de la sección, cm3
I= Radio de giro de la sección cm



Diámetro Exterior (D)		Espesor e	Peso P	A	Propiedades I	W	I
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm4	cm3	cm
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

Figura 4.1.1.1.4: Tabla de redondos mecánicos comerciales.



TORNILLO HEXAGONAL TODO ROSCA DIN-933 | ISO-4017 (MÉTRICO)

Cincado

Calidad 8.8

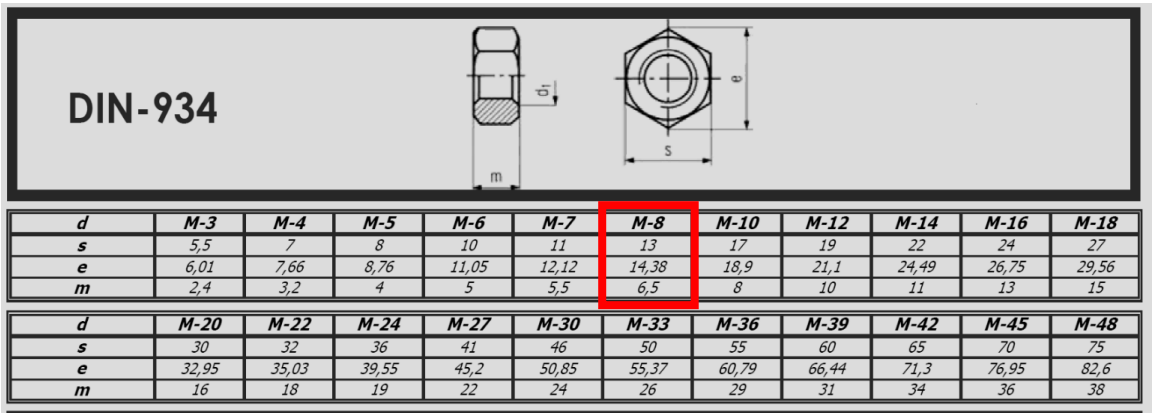
d Métrica del tornillo
k Altura de la cabeza
s Distancia entre caras (llave)
l Longitud seleccionada (sin cabeza)

Cotas en milimetros (mm)

d	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M12	M14	M16
k	2,8	3,5	4	5	5,5	6,25	7	8	9	10
s	7	8	10	11	13	15	17	19	22	24
paso	0,7	0,8	1	1	1,25	1,25	1,5	1,75	2	2

d	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36		
k	12	13	14	15	17	19	21	22		
s	27	30	32	36	41	46	50	55		
paso	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4		

Figura 4.1.1.1.5: Tabla de tornillos hexagonales de rosca completa comerciales de acuerdo a DIN 933/ISO 4017.

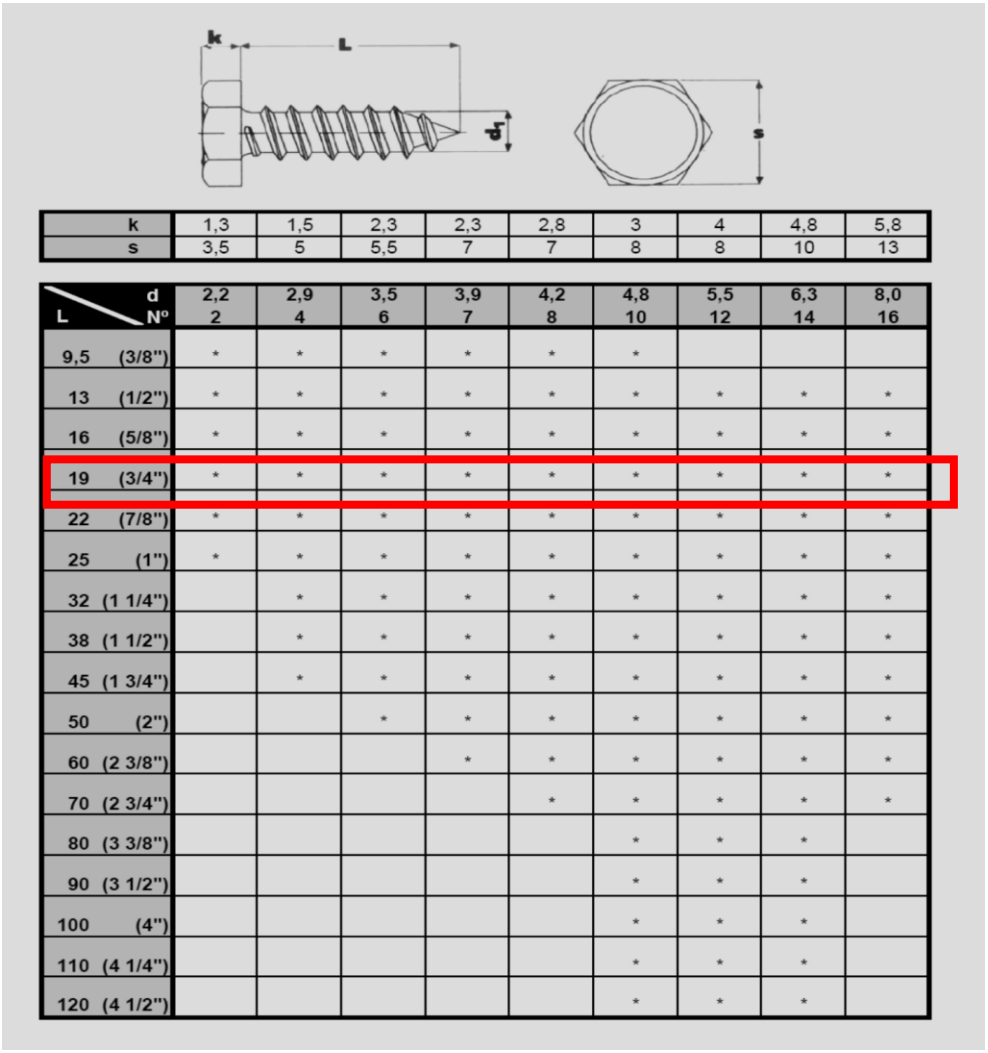


DIN-934

d	*M-3*	*M-4*	*M-5*	*M-6*	*M-7*	*M-8*	*M-10*	*M-12*	*M-14*	*M-16*	*M-18*
s	5,5	7	8	10	11	13	17	19	22	24	27
e	6,01	7,66	8,76	11,05	12,12	14,38	18,9	21,1	24,49	26,75	29,56
m	2,4	3,2	4	5	5,5	6,5	8	10	11	13	15

d	*M-20*	*M-22*	*M-24*	*M-27*	*M-30*	*M-33*	*M-36*	*M-39*	*M-42*	*M-45*	*M-48*
s	30	32	36	41	46	50	55	60	65	70	75
e	32,95	35,03	39,55	45,2	50,85	55,37	60,79	66,44	71,3	76,95	82,6
m	16	18	19	22	24	26	29	31	34	36	38

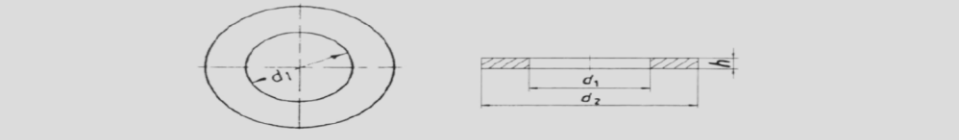
Figura 4.1.1.1.6: Tabla de tuercas hexagonales comerciales de acuerdo a DIN 934/ISO 4032, 4033.



k	1,3	1,5	2,3	2,3	2,8	3	4	4,8	5,8
s	3,5	5	5,5	7	7	8	8	10	13

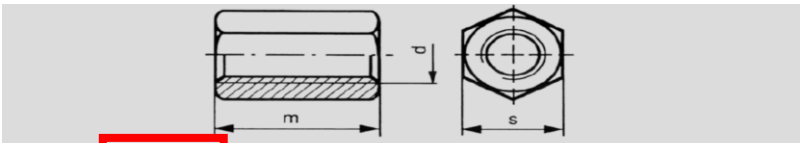
L \ d / Nº	2,2 2	2,9 4	3,5 6	3,9 7	4,2 8	4,8 10	5,5 12	6,3 14	8,0 16
9,5 (3/8")	*	*	*	*	*	*			
13 (1/2")	*	*	*	*	*	*	*	*	*
16 (5/8")	*	*	*	*	*	*	*	*	*
19 (3/4")	*	*	*	*	*	*	*	*	*
22 (7/8")	*	*	*	*	*	*	*	*	*
25 (1")	*	*	*	*	*	*	*	*	*
32 (1 1/4")		*	*	*	*	*	*	*	*
38 (1 1/2")		*	*	*	*	*	*	*	*
45 (1 3/4")		*	*	*	*	*	*	*	*
50 (2")			*	*	*	*	*	*	*
60 (2 3/8")				*	*	*	*	*	*
70 (2 3/4")					*	*	*	*	*
80 (3 3/8")						*	*	*	
90 (3 1/2")						*	*	*	
100 (4")						*	*	*	
110 (4 1/4")						*	*	*	
120 (4 1/2")						*	*	*	

Figura 4.1.1.1.7: Tabla de pijas hexagonales comerciales de acuerdo a DIN 7076.



M	d1	d2	h
1,6	1,7	4	0,3
2	2,2	5	0,3
2,5	2,7	6,5	0,5
3	3,2	7	0,5
3,5	3,7	8	0,5
4	4,3	9	0,8
5	5,3	10	1
6	6,4	12	1,6
7	7,4	14	1,6
8	8,4	16	1,6
10	10,5	20	2
12	13	24	2,5
14	15	28	2,5
16	17	30	3
18	19	34	3
20	21	37	3
22	23	39	3
24	25	44	4
27	28	50	4
30	31	56	4
33	34	60	5
36	37	66	5
39	40	72	6
42	43	78	7
45	46	85	7
48	50	92	8
50	52	92	8
52	54	98	8

Figura 4.1.1.1.8: Tabla de arandelas comerciales de acuerdo a DIN 125/ISO 7089, 7090.



s	10	13	17	19	24	30	36
L \ d	M-6	M-8	M-10	M-12	M-16	M-20	M-24
25	*	*	*				
30	*	*	*	*			
40			*	*	*		
50				*	*	*	
60							*

Figura 4.1.1.1.9: Tabla de tuercas de conexión hexagonales comerciales de acuerdo a DIN 7071.

4.1.1.2 Normativa empleada.

La normativa de la que hablaremos es acerca de tres sistemas de estandarización internacional DIN, ASTM, e ISO. En los cuales estaremos utilizando a lo largo de este documento, a continuación, se mencionará lo más relevante de cada una de ellas.

4.1.1.2.1 Normas ASTM.

Las normas o estándares ASTM por sus siglas en ingles *American Society for Testing and Material*es, decir, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales. Las normas ASTM maneja normativas enfocadas productos, sistemas y servicios, esta entidad cubre una gran cantidad de normalizaciones desde la metalurgia al papel, materiales de construcción hasta lubricantes.

4.1.1.2.2 Normas DIN.

Las normas o estándares DIN por sus siglas en alemán *Deutscher Industrie Normen*, es decir, Normas de la Industria Alemana. Las normas DIN son un conjunto de reglas que consisten en los estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos relacionados con la industria.

4.1.1.2.3 Normas ISO.

Las normas o estándares ISO por sus siglas en ingles *International Organization for* Standardization, es decir, Organización Internacional para la Estandarización. Las normas ISO son un conjunto un conjunto de normativas destinadas para las

empresas para asegurar que los productos y servicios sean seguros, fiables y de buena calidad.

4.1.1.2.4 Equivalencias entre normas DIN e ISO.

Las normas ISO al ser un organismo regulador internacional para las diferentes normas el día de hoy está presente en 193 países redactadas más de 22,000 normas. Por lo que es común encontrar normas que tengan su equivalencia en las normas ISO como lo son las DIN. A continuación, se muestran dichas equivalencias.

DIN	ISO	DIN	ISO	DIN	ISO	DIN	ISO
1	2339	564	-	980 (p. fino)	10513	6917, 6918	-
7	2338	571	-	981	-	6921, 6922	EN 1665
84	1207	580, 582	-	982	7040	6923	EN 1661
85	1580	601	4016	982 (p. fino)	10512	6924	7040
93	-	603	8677	985	10511	6924 (p. fino)	10512
94	1234	604…608	-	986	-	6925	7042
95	-	609, 610	-	988	-	6925 (p. fino)	10513
96	-	653	-	1440	8738	6926	EN 1663
97	-	660…662	1051	1441	-	6926 (p. fino)	EN 1666
123, 124	1051	674, 675	1051	1443	2340	6927	EN 1664
125 - 1, 2	7089, 7090	741	-	1444	2341	6927 (p. fino)	EN 1667
126	7091	787	299	1471	8744	6928	7053
127, 128	-	835	-	1472	8745	6928 (p. fino)	10509
137	-	906…910	-	1473	8740	7343	8750
186, 188	-	911	2936	1475	8742/8743	7344	8748
258	8737	912	4762	1476	8746	7346	13337
261	-	912 (p. fino)	12474	1477	8747	7349	-
302	1051	913	4026	1478…1480	-	7504	15480-15483
315, 316	-	914	4027	1481	8752	7967	-
404	-	915	4028	1587	-	7968	-
417	7435	916	4029	1804	-	7969	-
427	2342	917	-	1816	-	7971	1481
432	-	920…927	-	2093	-	7972	1482
433	7092	928, 929	-	6319	-	7973	1483
434…436	-	931	4014	6325	8734	7976	1479
438	7436	933	4017	6330	-	7977	8737
439	4035, 4036	934	4032, 4033	6331	-	7978	8736
439 (p. fino)	8675	934 (p. fino)	8673, 8674	6334	-	7979	8733, 8735
440	7094	935	7035	6340	-	7980	-
444	-	936	4035	6379	-	7981	7049
462, 463	-	936 (p. fino)	8675	6796	-	7982	7050
464…467	-	937	-	6797, 6798	-	7983	7051
471, 472	-	938…940	-	6799	-	7984	-
478…480	-	960	8765	6880	-	7985	7045
508	299	961	8676	6883, 6884	2492	7987…7989	-
551	4766	963	2009	6885	R773/2491	7990	-
553	7434	964	2010	6886, 6887	R774	7991	10642
555	4034	965	7046	6888	3912	7999	EN 14399-8
557	-	966	7047	6911	-	9021	7093
558	4018	975, 976	-	6912	-	11014	-
561	-	979	-	6914, 6915	EN 14399-4	11023, 11024	-
562	-	980	7042	6916	EN 14399-6	15237	-

Figura 4.1.1.2.4.1: Relaciones entre norma DIN e ISO.

4.1.1.3 Solera.

Para la elaboración de la solera (Pieza indicada con el número 12, en la sección 2.3.1), se cortarán piezas a 5.9cm (figura 4.1.1.3.1) de las cuales durante el proceso de corte se tomará muestra cada 30 piezas para comprobar (verificar/calibrar) las dimensiones sean iguales en todas las piezas.



Figura 4.1.1.3.1: Pieza base(izquierda) pieza terminada(derecha).

En caso de detectar un error, se detendrá el proceso corte y se procederá a calibrar la maquina con las medidas correctas (la maquina al ser de un buen fabricante muy pocas veces se des calibraba, así que este problema era muy poco común topárselo durante el proceso). Cuando una pieza se detectaba errónea (esta acción ocurría durante el proceso de verificación) esta se desechaba cuando sus mediadas estaban por debajo de lo especificado, en caso de estar por encima de lo especificado, esta se recuperaba para corregirla y ser utilizada nuevamente.

Una vez obtenida la pieza denominada como pieza base dicha pieza tenía que pasar por el proceso de rebabeado, (el cual consistí en quitar la rebaba que dejaba el proceso de corte), se procede a realizar el ranurado con una profundidad de 9mm (figura 4.1.1.3.3). Finalmente se comprobará las dimensiones de la pieza con el vernier para verificar (figura 4.1.1.3.4) que sus medidas eran correctas y para poder introducirlas al proceso de ensamblaje.

Hay que recalcar que, durante todo el proceso, se portara el EPP (equipo de protección personal) como lo son guantes, googlees, tapones auditivos, etc.



Figura 4.1.1.3.2: Solera con la ranura.



Figura 4.1.1.3.3: Medición de la profundidad de la ranura de la solera.



Figura 4.1.1.3.4: Medición de las especificaciones de la pieza.

4.1.1.4 Brazo del gancho.

Para su fabricación del brazo (Piezas 6, 7, 8, 14, y 15), se utilizarán cinco piezas diferentes, de las cuales se mostrará a continuación su proceso de elaboración:

1. La elaboración de la pieza 8 (en U), fue previamente realizada en una roladora manual por otros trabajadores de la empresa, por lo que dicha pieza ya se contaba cuando se elaboró dicho proyecto. Pero podemos decir de manera general que dicha pieza es de acero A 36 tipo redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de una longitud en su forma lineal de 3.8 cm ± 2 mm. Esta pieza es soldada posteriormente.
2. Para la parte base del brazo se emplea un redondo de 3/8 in en las cuales las piezas como se mencionó al inicio de este capítulo fueron cortadas previamente.



Figura 4.1.1.4.1: Introducción de la pieza 6 en el molde.

El proceso consistirá en que la pieza número 6 se introducía en la parte inferior del molde de montaje 1 (figura 4.1.1.4.1), después de introducirá la pieza 7 en la parte superior del canal y se inicia el proceso de soldadura que se observa en las figuras 4.1.1.4.3 y 4.1.1.4.4. Tras el proceso de soldadura se procedía al montaje de dicha pieza en el molde 2 para soldar de la tuerca de unión hexagonal de 1/4 x 7/8 in que se observa en las figuras 4.1.1.4.5 y 4.1.1.4.6. finalmente, ya soldada la tuerca unión hexagonal, se dejaba enfriar en el molde a próximamente 1 a 3 minutos, una vez finalizado este tiempo se observa el resultado final en la figura 4.1.1.4.7. Lo que resta es introducir de forma manual el tornillo hexagonal de 1/4 x 1 1/4 in.



Figura 4.1.1.4.2: Introducción de la pieza 7 en el molde.



Figura 4.1.1.4.3: Proceso de soldadura de las piezas 6 y 7.



Figura 4.1.1.4.4: Resultado del proceso de soldadura de las piezas 6 y 7.



Figura 4.1.1.4.5: Montaje de las piezas 6 y 7 tras el proceso de soldadura en el molde 2.



Figura 4.1.1.4.6: Montaje de la tuerca de unión hexagonal de 1/4 X 7/8 in.



Figura 4.1.1.4.7: Resultado final del brazo.

4.1.1.5 Pija con su soporte a la base del gancho.

Para la fabricación de este conjunto de piezas (1, 2, 3, 4, 16 y 17) seis diferentes cada una única, por lo que a continuación de describe el proceso que llevo a cabo cada uno de ellas para su fabricación.

1. Con las pijas hexagonales de 5/16 x 3 in, se le cortaran la cabeza hexagonal, tras cortar la cabeza se procedía a retirar (en un proceso de pulir) 3 cm de cuerda hasta que la pija pudiera entrar (solo la sección pulida) en la tuerca.
2. Para soldar dar el cuerpo de la pija (piezas 16, 17, 3 y 4) se introducirán en un molde con la forma de la misma, allí se aplicará la soldadura adecuada por ambos lados.
3. Tras obtener el cuerpo de la pija, se introducirá la pija en la tuerca de 5/16 in y se procederá a soldar la rondana de 9/16 in en la parte superior de la pija donde se le cortó la cabeza.
4. Tras soldar la rondana a la pija se colocarán las demás piezas en el molde, se realizará la soldadura adecuada y finalmente se revisará visualmente si no tenía un defecto la soldadura. La comprobación de esta pieza se hace en el mismo momento y también posteriormente durante el ensamble.

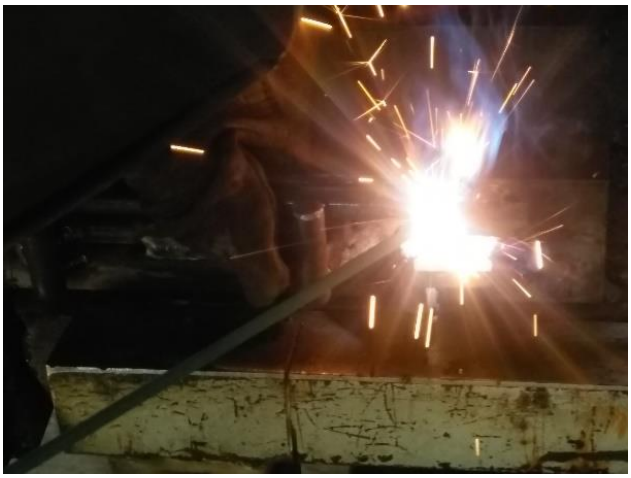


Figura 4.1.1.5.1: Aplicación de la soldadura en la rondana 9/16in.

4.1.1.6 Soporte del brazo para el cuerpo del gancho.

Para esta pieza se utilizará una roladora manual. El procedimiento se describe a continuación:



Figura 4.1.1.6.1: Piezas en diferentes partes del proceso para la elaboración del soporte para el brazo del gancho.

1. Previamente se cortarán piezas del redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de 6 m (como comercialmente se encuentra) a 14.2 cm de longitud figura 4.1.1.6.1. Esta pieza contendrá tres dobleces distintos.
2. El primer doblez se realizará en un extremo de la pieza exactamente a 90° a una distancia de 40 mm figura 4.1.1.6.2.
3. El segundo doblez se realizará de la misma manera, en el otro extremo de la pieza de igual forma a 90° y con la misma dirección que el anterior ver figura 4.1.1.6.3.
4. Para el tercer doblez se tendrá que comprobar la separación interna de los dos dobleces, que es de exactamente de 5.5 cm, dicha comprobación se realizaba con un vernier o con una pieza de referencia cada 50 piezas ver figura 4.1.1.6.4.



Figura 4.1.1.6.2: Primer dobles(arriba) y resultado del mismo(abajo).

5. Para el tercer doblez. Este está ubicado exactamente a la mitad de los dobleces anteriores y con una apertura de 160° ver figura 4.1.1.6.5.
6. Para comprobar que la pieza esta con las dimensiones correctas se pasarán por un molde el cual tiene las medidas correctas para evitar estar midiendo cada pieza una a una y evitar los errores de medición. Ver Figura 4.1.1.6.6.



Figura 4.1.1.6.3: Segundo dobles(arriba) y resultado del mismo(abajo).



Figura 4.1.1.6.4: Comprobación de la separación interna de los dobleces. Izquierda con una pieza de referencia, derecha con un vernier.

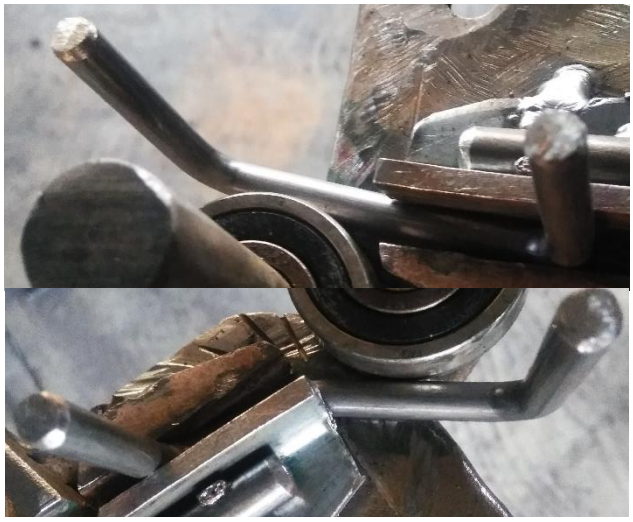


Figura: 4.1.1.6.5: Tercer dobles (arriba) y resultado (abajo).



Figura: 4.1.1.6.6: Comprobación de la pieza en el molde.

4.1.1.7 Soporte para las soleras.

Para esta pieza nuevamente se utilizará una roladora manual, el procedimiento se describe a continuación:



Figura 4.1.1.7.1: Piezas en diferentes partes del proceso para la elaboración del soporte para el brazo del gancho.

1. Previamente se cortarán piezas del redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de 6 m (como comercialmente se encuentra) de 11.1 cm de longitud ver figura 5.1.1.6.1. Esta pieza contiene dos dobleces similares.
2. El primer doblez se realizará en un extremo de la pieza exactamente a 146° a una distancia de 35.5 mm ver figura 4.1.1.7.2.
3. El segundo doblez se hace de la misma manera en el otro extremo de la pieza de igual manera a 146° y con la misma dirección que el anterior, figura 4.1.1.7.3. Cabe mencionar que en la roladora contiene una ranura para que dicha pieza pueda ingresar con el extremo que contiene el primer doblez perfectamente, así de esta manera pueda llevarse a cabo el segundo doblez perfectamente sin fallas.



Figura 4.1.1.7.2: Primer dobles (arriba) y resultado (abajo).

4. Finalmente, las piezas se probarán en un molde para determinar si dicha pieza está perfectamente doblada, con las medias indicadas en los planos para que posteriormente sea introducida al proceso de ensamblaje, ver figura 4.1.1.7.4.



Figura 4.1.1.7.3: Segundo doblez (arriba) y resultado (abajo).



Figura 4.1.1.7.4: Comprobación de la pieza en el molde.

4.1.1.8 Tope del brazo y soporte del mismo.

La pieza 10 (en Γ), fue previamente realizada en una roladora manual por otros trabajadores de la empresa, por lo que dicha pieza ya se contaba cuando se elaboró dicho proyecto. Pero podemos decir de manera general que dicha pieza es de acero A 36 tipo redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de una longitud en su forma lineal de 47 mm ± 1mm y que contiene un único doblez exactamente a 90° de una longitud de 19 mm. De igual manera se pasarán por un molde con la forma para verificar que la pieza esta correctamente. Esta pieza es soldada posteriormente en el proceso.

4.1.1.9 Soporte del cuerpo del gancho.

La elaboración de la pieza 10 (en I), fue previamente cortada por otros trabajadores de la empresa, por lo que dicha pieza ya se contaba cuando se elaboró dicho proyecto. Pero podemos decir de manera general que dicha pieza es de acero A 36 tipo redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de una longitud en su forma lineal de 43mm ± 1mm. Esta pieza es soldada posteriormente en el proceso.

4.1.1.10 Base del cuerpo del gancho.

La elaboración de la pieza 9, fue previamente realizada por otros trabajadores de la empresa, por lo que dicha pieza ya se contaba cuando se elaboró dicho proyecto. Pero podemos decir de manera general que dicha pieza es de acero A 36 tipo redondo pulido de 1/4 in (ver sección 4.1.1.1) de una longitud en su forma lineal de 425mm ± 1mm con un corte de 20 mm a una separación de 2 mm y un ángulo de apertura de 159° (ver apartado 2.3.2).

Esta pieza es la base para soldar las demás piezas, por lo que en otras palabras en esta pieza es la más importante, debido a que todas las piezas van unidas a ella,

por lo que todos los cortes se realizarán dentro de un molde con fu forma para evitar que la pieza tenga errores durante el proceso de corte.

4.1.2 Proceso de unión de las piezas.

El ensamblaje de las piezas se realizará, mediante la aplicación de soldadura. Debemos tener en cuenta que todas piezas fueron soldadas, por la soldadura que se observa en la figura 4.1.2.1. En los masters que se observan en las figuras 4.1.2.2 y 4.1.2.3. La ficha técnica de dicha soldadura se encuentra en el anexo 2.



Figura 4.1.2.1: Soldadura ESAB – E6013 3/32

El proceso se iniciará con la base del gancho, soldando las siguientes piezas en el orden mencionado:

1. Soporte del cuerpo del gancho (pieza 11): Cuando estas piezas finalizarán el proceso de corte y rebabeado, se procederá a soldar estas piezas, ubicadas a los extremos de las puntas a una distancia de centros de 61mm ± 0.5mm, esta medida no es problema ya que con ayuda del "master de ensamblaje" las piezas están bien ubicadas sin tener que estar tomando medidas en cada pieza y evitar errores de medición. En las figuras 4.1.2.4 se observa el resultado después de la aplicación de la soldadura.
2. Soleras: Cuando estas piezas finalizan el proceso



Figura 4.1.2.2: Master de ensamblaje 2 empleado para soldar las piezas 6, 7, 8, 10, 14, y 15.

de elaboración, se procederá a soldarlas en la base como se observa en la figura 4.1.2.5. Todas las medidas son tomadas de los planos mostrados anteriormente en la sección 2.3.2.

3. Soporte para soleras: Este soporte se soldará con el apoyo que tiene el master en la parte superior tal como se observa en la figura 4.1.2.6. Este soporte facilita el proceso de la aplicación de soldadura de dicha pieza, el resultado final se observa en la figura 4.1.2.7.



Figura 4.1.2.3: Master de ensamblaje 1 empleado para soldar las piezas 1, 2, 3, 4, 9, 11, 12, 13,16 y 17.

4. Pija con su soporte: Para esta pieza se necesitará un apoyo con un ángulo de inclinación de 82°, además de un soporte con un centro, tal cual se muestra en la figura 4.1.2.8. Durante el proceso de soldadura, la pija se ubica en ese soporte y con ayuda de unas pinzas de presión evitamos que la pieza se mueva en cualquier dirección, de esta manera evitamos fallos durante dicho proceso, el resultado final se observa en la figura 4.1.2.9.

Tras la unión de las piezas anteriores, se dejará enfriar en el master 1 durante aproximadamente 3 minutos, para evitar que las piezas durante su enfriamiento se deformen, tal cual como se observa en la figura 4.1.2.10.



Figura 4.1.2.4: Resultado de la aplicación de soldadura en las piezas 11 con 9.



Figura 4.1.2.5: Resultado de la aplicación de soldadura en las piezas 12 con 9.



Figura 4.1.2.6: Apoyo para soldar la pieza 13, en el master 1.



Figura 4.1.2.7: Resultado de la aplicación de soldadura en las piezas 13 con 12.



Figura 4.1.2.8: Apoyo para soldar la pija con soporte, en el master 1.



Figura 4.1.2.9: Resultado de la aplicación de soldadura en las la pija con la base.



Figura 4.1.2.10: Proceso de enfriamiento de las piezas en el master 1.

Tras a ver trascurrido el tiempo de enfriamiento, se procederá a soldar las piezas restantes en el master de ensamblaje 2, los pasos se describirán a continuación:



Figura 4.1.2.11: Soporte para la aplicación de soldadura de la pieza 5(arriba). Resultado final del proceso de soldadura(abajo).

5. Soporte del brazo al cuerpo del gancho: Para esta pieza se procederá colocar la pieza 5 en el soporte, tal cual como se observa en la figura 4.1.2.11, dicho soporte es fundamental para la aplicación correcta de soldadura en las uniones, de manera que la pieza quede colocada justamente a las medidas indicadas en los planos.
6. Brazo del gancho: Esta pieza se colocará en el centro de la pieza 5 justo donde dicha pieza tiene el doblez. Se ajusta y se aplica un punto de soldadura para probar si dicha pieza gira de derecha a izquierda perfectamente. Tal cual como se observa en las figuras 4.1.2.12 y 4.1.2.13. Una vez que se comprueba que el brazo giraba perfectamente se procederá a aplicar la soldadura completa tal cual como se observa en la figura 4.1.2.14.
7. Tope del brazo: Esta pieza se colocará tal cual en la “ranura”, que se ajusta el brazo y se aplicará la soldadura como se observa en la figura 4.1.2.15.
8. Pieza en U (numero 8): Esta pieza será soldada con forme al molde tal cual como se observa en la figura 4.1.2.16.



Figura 4.1.2.12: Ubicación del brazo del gancho para soldarlo (arriba). Aplicación de un punto de soldadura(abajo).

Al finalizar de soldar todas las piezas del gancho se procede a rectificar las soldaduras, para verificar que todas estén bien, esta inspección se hace de manera visual conforme a la experiencia de los “maestros soldadores” como se observa en las figuras 4.1.2.17 y 4.1.2.18. Al finalizar este proceso se dejará enfriar en el master 3, aproximadamente de 3 a 5 minutos esto se hace con el fin de evitar las deformaciones de las piezas durante el proceso de enfriamiento producido por el calor de la soldadura.



Figura 4.1.2.13: Comprobación del giro correcto, tras la aplicación de un punto de soldadura hacia la derecha e izquierda.



Figura 4.1.2.14: Resultado de la aplicación de la soldadura en el brazo con la pieza 5.



Figura 4.1.2.15: Colocación del tope de brazo (izquierda) resultado de la aplicación de la soldadura (derecha).



Figura 4.1.2.16: Colocación de la pieza en U en el brazo del gancho (izquierda), resultado de la aplicación de la soldadura (derecha).



Figura 4.1.2.17: Inspección y rectificación de las partes soldadas.



Figura 4.1.2.18: Proceso de enfriamiento al finalizar la inspección visual de la soldadura de las piezas.



Figura 4.1.2.19: Resultado final del gancho tras haber soldado todas las piezas.

4.1.3 Proceso de limpieza e inspección.

Una vez finalizado el proceso de enfriamiento del gancho se procederá a hacer la limpieza del mismo, procesos como el pulido y remoción de la escoria o perlas[56] en las piezas. A continuación, se describen de manera general el proceso que se llevará a cabo para la limpieza del gancho.

La limpieza del gancho, se lleva a cabo una vez finalizado el tiempo de enfriamiento, en el cual consta de localizar las partes más sucias por el proceso de soldadura, más en particular en las uniones, ya que es donde se localizan la escoria y las perlas alrededor de la zona tal cual como se muestra en la figura 4.1.3.1.



Figura 4.1.3.1: Algunas partes del gancho más sucias y con perlas.

[56] Durante el proceso de soldadura se produce la generación de partículas (perlas de soldadura) que pueden afectar a procesos posteriores como pintura, limpieza etc. Estas perlas pueden salir disparadas durante el proceso de fundición del área de trabajo en todas direcciones y quedan adheridas en los metales.

La remoción de las perlas se realizará con un cepillo de alambre o una carda en un esmeril, la mayoría de ellas se caen durante este proceso, las restantes se remueven con un cincel de 3/8 o 1/4 in dependiendo de qué tan adherida este al metal. Como se observas en las figuras 4.1.3.2. Tras haber pasado estos procesos el resultado se observa en la figura 4.1.3.3, este gancho ya está listo para las pruebas finales que se mencionarán más adelante.



Figura 4.1.3.2: Partes del gancho después del proceso de pulido y limpieza.



Figura 4.1.3.3: Gancho después del proceso de pulido y limpieza.

4.1.4 Problemas más comunes durante el ensamblaje del gancho.

Mientras trascurría el proceso de ensamblaje se presentaban algunos problemas, los cuales se muestran a continuación:

1. Desfase de la pija con soporte: Este error se veía muy constante, ya que es producido por la deformación de las piezas, por el calor generador en el proceso de soldadura (figura 4.1.4.1). La solución es simplemente volver a enderezar el metal aplicando una fuerza en sentido opuesto a la torcedura. En caso de que esta solución no solucione, se procese a retirar la pieza con el calor de la soldadura o con un disco de corte y colocar una nueva pieza.
2. Falla de tolerancias en la pieza 10: Este error es únicamente debido a un desfase de la pieza al momento de aplicar la soldadura, en algunos casos es porque la pieza esta demasiada pequeña o no cumple con el ángulo correcto de apertura, pero en ambos casos ocasiona un desfase, la solución es abrir más la pieza, aplicando una fuerza opuesta, tal cual como se observa en la figura 4.1.4.2.
3. Falla de ubicación de la pieza 8: Este error se debe a una mala ubicación de la pieza al iniciar el proceso de soldar, por lo que la solución es aplicar una fuerza en la punta del brazo del gancho en el eje. En caso de que esta acción no solucione se procederá a retirar la pieza con ayuda de un disco de corte y colocar otra nueva ver figura 4.1.4.3.
4. Torcimiento del brazo del gancho: Este error es ocasionado por el calor excesivo producido durante el proceso de la soldadura (**durante el tiempo de enfriamiento las piezas tienden a deformarse si no cuenta con un molde que mantenga su forma**). La solución es aplicar una fuerza en sentido contrario de la



Figura 4.1.4.1: Error de desface de la pija con su soporte (izquierda). Derecha

torcedura, en caso de no solucionar este problema la otra acción retirar la pieza y colocar una nueva ver figura 4.1.4.4.

5. Separación entre la base y el brazo: Este error es ocasionado debido a una mala posición del brazo, la deformación por exceso de calor en el momento de aplicar la soldadura o durante el proceso de enfriamiento. La única solución favorable es cambiar el brazo, en lagunas ocasiones se soluciona aplicación una fuerza opuesta pero no es muy fiable ya que la aplicación de dicha fuerza afecta a su mecanismo, así como a las tolerancias del mismo ver figuras 4.1.4.5.



Figura 4.1.4.2: Error de desface de la pieza 10 abajo. Arriba error arreglado.



Figura 4.1.4.3: Error de desface de la pieza 8 izquierda. Derecha error arreglado.



Figura 4.1.4.5: Separación errónea arriba. Separación correcta abajo.



Figura 4.1.4.4: Torcimiento del brazo.

4.1.5 Método de prueba del gancho.

Una vez que el gancho era limpiado y pulido se procederá a probar para que dicho gancho pudiera ser entregado al cliente. Dichos ganchos, se comprobarán en el master 4. Este master solo contiene las tolerancias más importantes como la del soporte de la pija, el soporte para la base del gancho, las separaciones de las soleras, brazo y la pieza en U ver figura 4.1.5.1.



Figura 4.1.5.1: Master número 4.

Para probar un gancho deberá de consistir en mover el gancho de manera de similar al movimiento que tendrá, el cual será de derecha a izquierda y viceversa. El cual debe en encajar perfectamente en las tolerancias presentadas en el master, en caso de que el gancho no pasara esta prueba se devolverá al área de ensamblaje para ser corregido indicando cual es problema en él, si no se pode solucionar el error el gancho se desechaba. En las figuras 4.1.5.2, se muestran los resultados. De igual manera se verifica que la pija con soporte este perfectamente centrada. Y algunos otros parámetros, como que el gancho no tenga demasiado “juego” por el exceso de tolerancias, las medidas de las piezas estén correctas, las soldaduras estén visualmente perfectas si alguna de ellas le falte por



Figura 4.1.5.2: Movimiento a la derecha (arriba). Movimiento a la izquierda (abajo).

aplicar un segundo cordón, si presenta huecos, etc. Y sobre todo que este perfectamente limpio el gancho.

4.1.6 Resultado final.

Tras finalizar todos los procesos mencionadas anteriormente el gancho se procederá a ser entregado al cliente en este caso es Volkswagen tal cual como se describió en el apartado 3.3. Volkswagen se encargará de hacer la revisión final para dar el visto bueno o malo de cada gancho, el proceso es el mismo descrito en el apartado 4.1.5.

Finalmente, el gancho terminado y listo para ser entregado al cliente como se observa en la figura 4.1.6.1.



Figura 4.1.6.1: Gancho terminado y aprobado por Volkswagen.

4.2 Conclusiones.

Al finalizar todos los procesos a los que se someterá el gancho, en la etapa final eran probados para verificar que contenían las medias correctas, además de que se ponía a prueba la soldadura y la resistencia de la misma estructura, al aplicarle las fuerzas correspondientes a cada uno de los conjuntos de las piezas, como era de esperar de las características del acero ASTM A 36 y gracias al duro trabajo tanto por parte del área de diseño así como del área de manufactura pero sobre todo a los grandes conocimientos de los maestros soldadores Domingo Barrera y Daniel Águila, obteniendo un margen de error de 2 a 100, es decir por cada 100 piezas dos podría salir mal, mayormente el error de estos era debido a un posible error de tamaño de las piezas o a una deformación durante el proceso de enfriamiento, esto es bastante aceptable considerando las herramientas que se utilizaron, además de que el personal no está capacitado para manejar software diseño, simulación o interpretación de planos complejos, pero dicho personal si contaban con grandes habilidades para llevar a cabo cualquier proceso de manufactura con soldadura, lo que contribuyó significativamente a la disminución de errores presentes en cada etapa del proceso.

Al concluir este proyecto se obtuvieron puntos positivos en la empresa, los cuales fueron que se amplió el departamento de ingeniera para dar más peso al área de diseño, capacitar más al personal de cuerdo a las necesidades requeridas, de la misma manera se obtuvo una reducción de errores en la elaboración de los ganchos gracias a la utilización de software especializado, una mejora en la calidad de producción de los ganchos debido a un eficiente desarrollo de planos de las piezas y sobre todo una entrega de trabajo con todos los estándares de calidad y la seguridad que el trabajo implicado está garantizado y respaldado. Finalmente podemos decir que dicho proyecto servirá de guía para la elaboración de futuros proyectos acerca de diversas estructuras dentro de la empresa, ya que se abordan temas muy amplios acerca de EM, por lo que le facilitara el proceso aún más si se utiliza los programas allí mencionados.

Bibliografía.

1. Soto, H. (2000) Diseño de estructuras metálicas. Editorial Buena Onda. Vol. 1.
2. Salazar, T. (2007) Resistencia de material básica para estudiantes de ingeniería. Editorial Manizales. 1° Ed.
3. Basset Salom, Luisa. Clasificación estática de las estructuras. Editorial Universitat Politécnica de València. 1° Ed.
4. McCormac, J. Análisis de Estructuras. Editorial Alfaomega. 4° Ed.
5. Kassimali, A. (2001) Análisis Estructural. Editorial Cengage Learning. 5° Ed.
6. González, C. (2009) Análisis Estructural. Editorial Limusa. 1° Ed.
7. Rodas, H. (2014). *ESTRUCTURAS 1 APUNTES DE CLASE*. Editorial Gráficas del Sur. 1° Ed.
8. Gutiérrez Alonso G. (2002). Esfuerzo y deformación Curso 2002-03. Universidad de Salamanca. 1° Ed.
9. Esdrit V González. (2014). Esfuerzo y deformación. Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Extensión Porlamar. 1° Ed.
10. Aguado Crespo, F. (1987) Introducción a la Construcción. Editorial. Pueblo y Educación. La Habana.

11. Singer y Pyter. (1982). Resistencia de materiales introducción a la mecánica de sólidos. Editorial Harla. 4° Ed.
12. Zúñiga. Isabel y Chang. Jing. (2000). METODO DE CROSS. Universidad de Chile. Facultad de arquitectura y urbanismo.
13. Urbán. Pascual. (2009). Construcción de estructuras metálicas. Editorial Club universitario. 4°Ed.
14. Hernández y Espejo. (2002). Mecánica de fractura y análisis de falla. Editorial. Panamericana formas e impresos S.A. 1° Ed.
15. ASTM, (1998). Especificación para el acero estructural designación: A 36/A 36M - 97ª. Libro de estándares de ASTM Vol. 01.04.
16. Basset Salom, Luisa. Clasificación estática de las estructuras. Editorial Universitat Politécnica de València. 1° Ed.
17. Kirnosov V. Medición de fuerza y dureza. Edit. Pueblo y Educación. La Habana. 1985.
18. Revista digital para profesionales de la enseñanza. N°15 – Julio 2011. ISNN:1989-4023.
19. Revista ARQHYS. 2012, Estructuras hiperestáticas.

20. Teoría y cálculo de estructuras. Escuela Politécnica Superior de Ávila. Ingeniería Técnica de Topografía.
21. INDURA. Manual de soldadura sistemas por arco.
22. ESAB, líder mundial en la producción de equipos de soldadura, corte y productos consumibles.
23. INFRA. MANUAL DE ELECTRODOS PARA SOLDAR.
24. Ing. Gamonal R. Principales normas de calidad del acero. Editorial Aceros Arequipa.

Anexo 1.

Las disposiciones de esta Norma pueden ser complementadas por las versiones vigentes de los siguientes documentos de referencia. En caso de discrepancia entre las disposiciones de esta Norma y los documentos de referencia enlistados, regirán las disposiciones de la presenta Norma.

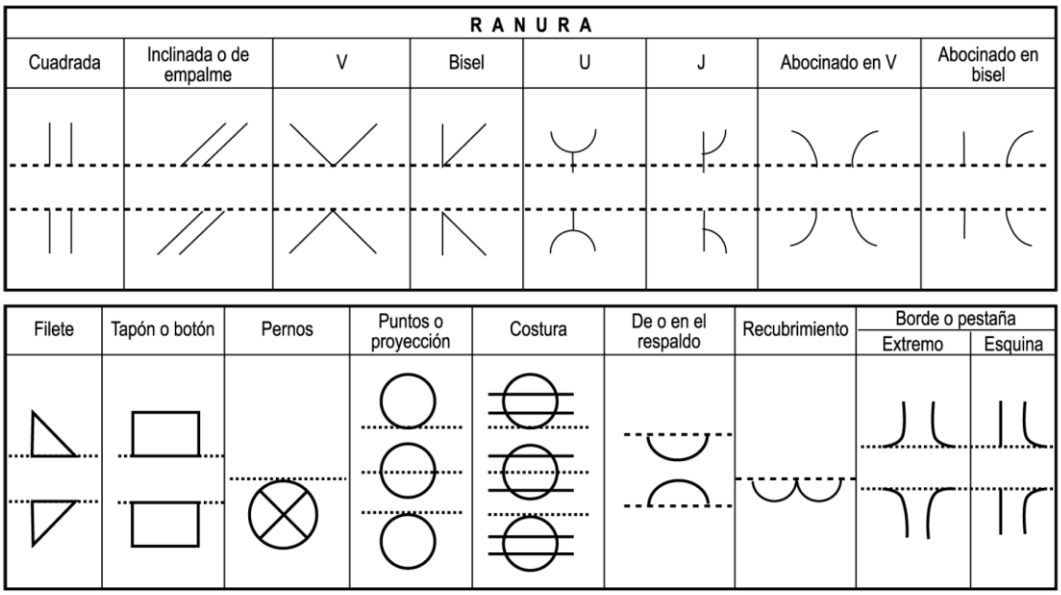
1. AC1 318 “Requisitos del código de construcción para concreto estructural”
2. AISC “Guías de diseño”
3. AISC 303 “Código de práctica estándar para edificios y puentes de acero estructural”
4. AISC 325 “Manual de construcción en acero”
5. AISC 341 “Disposiciones sísmicas para edificios de acero estructural”
6. AISC 360 “Especificación para edificios de acero estructural”
7. AISC 358 “Conexiones precalificadas para marcos rígidos de acero especiales e intermedios para aplicaciones sísmicas”
8. ASCE 41-13 “Evaluación y actualización sísmica de edificios existentes”
9. AWS D1.1 “Código de soldadura estructural en acero”
10. AWS D1.4 “Código para soldadura estructural. Acero de refuerzo”
11. AWS D1.8 “Código para soldadura estructural. Diseño Sísmico”
12. CSA S16 “Diseño de estructuras de acero”
13. IMCA “Código de prácticas generales para estructuras de acero”
14. IMCA “Especificaciones para construcciones de acero estructural”
15. IMCA “Manual de construcción en acero”

16. RCSC “Especificación para juntas estructurales que usan tornillos de alta resistencia”
17. ACI American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)
18. AISC American Institute of Steel Construction (Instituto Americano de la Construcción en Acero)
19. ASCE American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles)
20. AWS American Welding Society (Sociedad Americana de la Soldadura)
21. CSA Canadian Standards Association (Asociación canadiense de estandarización)
22. IMCA Instituto Mexicano de la Construcción en Acero
23. RCSC Research Council on Structural Connections (Consejo de Investigación sobre Conexiones Estructurales)

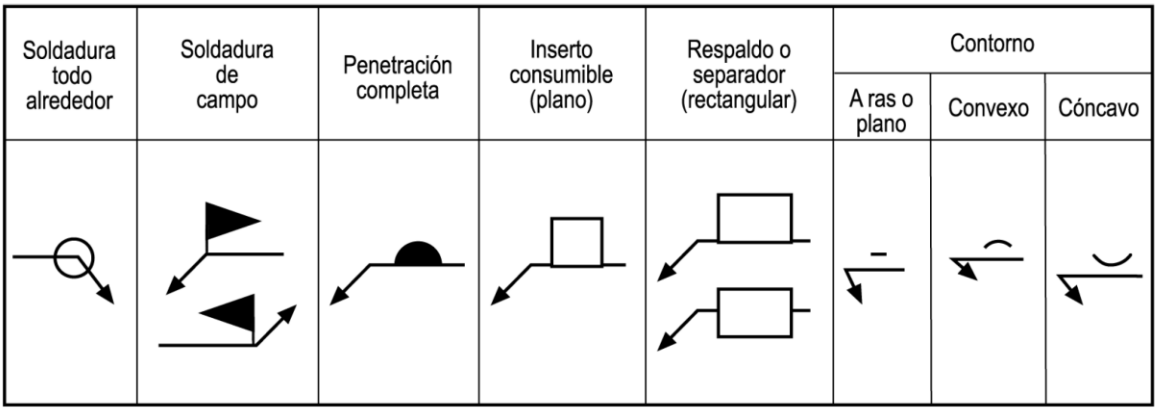
Anexo 2.

Anexo 2.1 Diagramas sobre los tipos de soldadura y uniones más comunes.

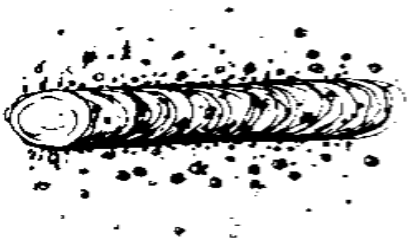
SÍMBOLOS BASICOS DE SOLDADURA



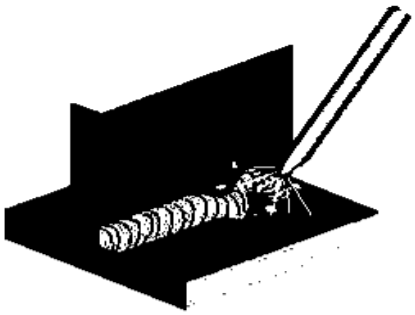
SÍMBOLOS COMPLEMENTARIOS PARA SOLDADURA



Anexo 2.2 Problemas y defectos más comunes en la soldadura por arco. Cortesía de INDURA.

DEFECTOS	CAUSAS Y SOLUCIONES
Mal aspecto 	**Causas probables:** 1. Conexiones defectuosas. 2. Recalentamiento. 3. Electrodo inadecuado. 4. Longitud de arco y amperaje inadecuado. **Recomendaciones:** 1. Usar la longitud de arco, el ángulo (posición) del electrodo y la velocidad de avance adecuados. 2. Evitar el recalentamiento. 3. Usar un vaivén uniforme. 4. Evitar usar corriente demasiado elevada.
Penetración excesiva 	**Causas probables:** 1. Corriente muy elevada. 2. Posición inadecuada del electrodo. **Recomendaciones:** 1. Disminuir la intensidad de la corriente. 2. Mantener el electrodo a un ángulo que facilite el llenado del bisel.
Salpicadura excesiva 	**Causas probables:** 1. Corriente muy elevada. 2. Arco muy largo. 3. Soplo magnético excesivo. **Recomendaciones:** 1. Disminuir la intensidad de la corriente. 2. Acortar el arco. 3. Ver lo indicado para "Arco desviado o soplado".

Arco desviado



Causas probables:
1. El campo magnético generado por la C.C. que produce la desviación del arco (soplo magnético).

Recomendaciones:
1. Usar C.A.
2. Contrarrestar la desviación del arco con la posición del electrodo, manteniéndolo a un ángulo apropiado.
3. Cambiar de lugar la grampa a tierra
4. Usar un banco de trabajo no magnético.
5. Usar barras de bronce o cobre para separar la pieza del banco.

Soldadura porosa



Causas probables:
1. Arco corto.
2. Corriente inadecuada.
3. Electrodo defectuoso.

Recomendaciones:
1. Averiguar si hay impurezas en el metal base.
2. Usar corriente adecuada.
3. Utilizar el vaivén para evitar sopladuras.
4. Usar un electrodo adecuado para el trabajo.
5. Mantener el arco más largo.
6. Usar electrodos de bajo contenido de hidrógeno.

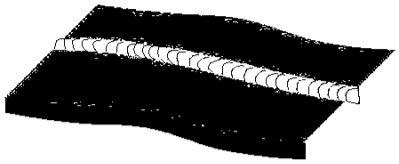
Soldadura agrietada



Causas probables:
1. Electrodo inadecuado.
2. Falta de relación entre tamaño de la soldadura y las piezas que se unen.
3. Mala preparación.
4. Unión muy rígida.

Recomendaciones:
1. Eliminar la rigidez de la unión con un buen proyecto de la estructura y un procedimiento de soldadura adecuado.
2. Precalentar las piezas.
3. Evitar las soldaduras con primeras pasadas.
4. Soldar desde el centro hacia los extremos o bordes.
5. Seleccionar un electrodo adecuado.
6. Adaptar el tamaño de la soldadura de las piezas.
7. Dejar en las uniones una separación adecuada y uniforme.

Combadura



Causas probables:
1. Diseño inadecuado.
2. Contracción del metal de aporte.
3. Sujeción defectuosa de las piezas.
4. Preparación deficiente.
5. Recalentamiento en la unión.

Recomendaciones:
1. Corregir el diseño.
2. Martillar (con martillo de peña) los bordes de la unión antes de soldar.
3. Aumentar la velocidad de trabajo (avance).
4. Evitar la separación excesiva entre piezas.
5. Fijar las piezas adecuadamente.
6. Usar un respaldo enfriador.
7. Adoptar una secuencia de trabajo.
8. Usar electrodos de alta velocidad y moderada penetración.

Soldadura quebradiza



Causas probables:
1. Electrodo inadecuado.
2. Tratamiento térmico deficiente.
3. Soldadura endurecida al aire.
4. Enfriamiento brusco.

Recomendaciones:
1. Usar un electrodo con bajo contenido de hidrógeno o de tipo austenítico.
2. Calentar antes o después de soldar o en ambos casos.
3. Procurar poca penetración dirigiendo el arco hacia el cráter.
4. Asegurar un enfriamiento lento.

Penetración incompleta



Causas probables:
1. Velocidad excesiva.
2. Electrodo de Ø excesivo.
3. Corriente muy baja.
4. Preparación deficiente.
5. Electrodo de Ø pequeño.

Recomendaciones:
1. Usar la corriente adecuada. Soldar con lentitud necesaria para lograr buena penetración de raíz.
2. Velocidad adecuada.
3. Calcular correctamente la penetración del electrodo.
4. Elegir un electrodo de acuerdo con el tamaño de bisel.
5. Dejar suficiente separación en el fondo del bisel.

Fusión deficiente



Causas probables:
1. Calentamiento desigual o irregular.
2. Orden (secuencia) inadecuado de operación.
3. Contracción del metal de aporte.

Recomendaciones:
1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas.
2. Conformar las piezas antes de soldarlas.
3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar.
4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.
5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.

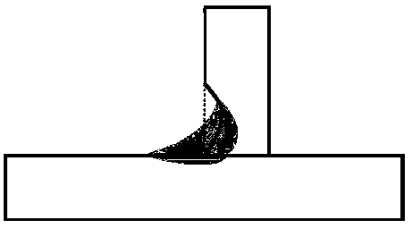
Distorsión (deformación)



Causas probables:
1. Calentamiento desigual o irregular
2. Orden (secuencia) inadecuado de operación
3. Contracción del metal de aporte

Recomendaciones:
1. Puntear la unión o sujetar las piezas con prensas.
2. Conformar las piezas antes de soldarlas.
3. Eliminar las tensiones resultantes de la laminación o conformación antes de soldar.
4. Distribuir la soldadura para que el calentamiento sea uniforme.
5. Inspeccionar la estructura y disponer una secuencia (orden) lógica de trabajo.

Socavado



Causas probables:
1. Manejo defectuoso del electrodo.
2. Selección inadecuada del tipo de electrodo.
3. Corriente muy elevada.

Recomendaciones:
1. Usar vaivén uniforme en las soldaduras de tope.
2. Usar electrodo adecuado.
3. Evitar un vaivén exagerado.
4. Usar corriente moderada y soldar lentamente.
5. Sostener el electrodo a una distancia prudente del plano vertical al soldar filetes horizontales.

Anexo 2.3 Ejemplo sobre la identificación de un electrodo.

E6013 T

E = Electrodo.

60 = Resistencia mínima a la tensión de 60,000 Ib/in^2

1 = Para ser empleado en todas las posiciones.

EXX1X = Cualquier posición de piso, horizontal, sobre cabeza y vertical.

EXX2X = Horizontal y de piso únicamente.

EXX3X = Piso únicamente.

EXX4X = Piso, sobre cabeza, horizontal y vertical hacia abajo.

3 = Es un electrodo con recubrimiento de Rutilio que debe emplearse con corriente directa o corriente alterna.

T = Indica el tamaño del electrodo, por ejemplo: 3/32, 1/8, 3/16, etc.

Anexo 2.4 Ficha técnica del electrodo E6013.

1. Norma: AWS E6013 / ASME E6013
2. Descripción: Es un electrodo Rutilio para trabajos en general en aceros de bajo carbón de excelente encendido su escoria se desprende sola.
3. Características sobresalientes: Suelda en todas posiciones principalmente vertical descendente utiliza corriente alterna (CA) o corriente directa (CD) tanto con polaridad directa (PD) o polaridad invertida (PI) su arco es silencioso con poco chisporroteo de ligera penetración.
4. Uso y aplicaciones: Para mantenimiento y reparaciones en general de equipo y maquinaria de aceros de bajo carbón, tiene muy fácil aplicación sobre laminas delgadas, fabricación de muebles metálicos y carrocerías de vehículos debido a la rápida solidificación del material depositado y la escoria el metal depositado se puede forjar en caliente
5. Propiedades Mecánicas según AWS:

   Resistencia a la tención: 4,230 Kg/cm^2 (60,000.00 lb/In^2)

   Elongación en 50 mm: 17%

   Limite elástico: 3,390Kg/cm^2 (48,000 PSI)

   Dureza Brinell: 160
6. Composición Química típica del material depositado:

   Carbono: 0.09%

   Manganeso: 0.41%

   Silicio: 0.40%

   Azufre: 0.005%

   Fósforo: 0.02%
7. Amperaje: 100 a 120A

Anexo 3.

Anexo 3.1 Programas para el diseño de estructuras.

ACERO FÁCIL
Programa desarrollado totalmente en México en ambiente Windows para el diseño de elementos estructurales de acero, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y Especificaciones AISC-LRFD-1993. Calcula la resistencia de miembros formados por perfiles laminados (ángulos, vigas, canales, redondos, tubos, ángulos en espalda y en cajón, secciones I hechas con tres placas soldadas, secciones en cajón con 4 placas soldadas y canales en espalda y en cajón) en tensión, compresión, cortante, flexión y flexocompresión. Funciona para cualquier tipo de acero (NOM-B-254 o ASTM A36, ASTM A572, Grado 50, ASTM A572, Grado 60, etc.) y los perfiles se identifican con la designación del Instituto Mexicano de Construcción en Acero (IMCA).

ARES
Programa para el análisis de armaduras espaciales hiperestáticas.

ARMPLA
Programa para el análisis elástico lineal de armaduras planas hiperestáticas. Determina deformaciones, esfuerzos y fuerzas axiales, así como reacciones producidas por sistemas de fuerzas estáticas aplicadas en los nudos.

AISC-AutoCAD
Programa para detallar estructuras de acero. Contiene todos los perfiles estructurales laminados simples y compuestos contenidos en el Manual of Steel Construction ASD y en la parte 1 del Manual LRFD del American Institute of Steel Construction, para el detallado de miembros estructurales y conexiones.

ANALYSIS Group
Conjunto de seis herramientas especializadas para el análisis rápido de vigas continuas, vigas sobre cimentaciones elásticas, tanques circulares y muros de cortante.

DAST
Programa de análisis y diseño de estructuras de acero. Diseño de estructuras complejas. Análisis estático en dos y tres dimensiones, efecto P-Delta, análisis dinámico, diseño estructural en concreto y acero.

DESCON
Programa para detallar conexiones estructurales.

DESCUN
Análisis y diseño de vigas de acero rectas y curvas para estructuras de puentes.

ELRFD
Programa para la revisión estructural de los miembros principales de estructuras para edificios, mediante las Especificaciones AISC-LRFD-1993.

ESDS *(European Steel Design Software)*
Conjunto de programas proveniente del cambio de la filosofía de diseño en la Comunidad Europea del diseño por esfuerzos de trabajo al de resistencia última.

AutoSTRUCTURAL

Análisis estructural con autocad. Conjunto de programas desarrollados por ingenieros mexicanos aplicados al análisis estructural. Opera junto con el programa Autocad desarrollado por AutoDesk y analiza y diseña todo tipo de estructuras: acero, concreto reforzado, tanto convencionales como especiales. Atendiendo al tipo de estructura que se requiera diseñar, el programa está integrado por cinco módulos independientes y a la vez complementarios entre sí. módulo de armaduras espaciales y planas (AESTRU), módulo de marcos planos (MPSTRU), módulo de retículas planas (RPSTRU), módulo de marcos espaciales(MESTRU), módulo de análisis sísmico total de edificios (ASTE-98). En todos los módulos que forman el sistema AutoSTRUCTURAL la alimentación de la información de cada estructura (geometría, secciones, materiales, apoyos, cargas, combinaciones de cargas, etc.) se efectúa directamente dentro del programa AutoCAD, facilitando en forma importante los procesos de alimentación y revisión de esta información.

AESTRU *(Armaduras Espaciales y Planas).* Conjunto de programas que permiten analizar en dos o tres dimensiones estructuras esqueléticas formadas por barras que trabajan en tensión o compresión. Con este módulo se analizan estructuras tales como armaduras de techo de tipo industrial, armaduras para puentes, soportes para anuncios, publicitarios, joist para sistemas de piso, cubiertas tridimensionales formadas por tetraedros y torres de transmisión de energía eléctrica.

MPSTRU *(Marcos Planos).* Grupo de programas que permiten analizar en dos dimensiones estructuras esqueléticas formadas por barras prismáticas sometidas principalmente a flexión y/o tensión-compresión (vigas, trabes y columnas o tensores respectivamente). Incluye en todas las ecuaciones la deformación por cortante, lo que permite también utilizarlo para modelar muros de cortante en edificios, vigas de gran peralte y ménsulas. También analiza vigas continuas, voladizos, marcos reticulares para edificios, muros-marco, marcos con medios niveles o con entrepisos de doble altura o con niveles incompletos o a dos aguas, marcos rígidos de estructuras industriales y estructuras especiales.

RPSTRU *(Retículas Planas).* Conjunto de programas que permiten analizar estructuras esqueléticas planas, formadas por barras prismáticas sometidas principalmente a flexión bajo cargas perpendiculares a su plano, incluyendo el trabajo de torsión (sistemas de contratrabes en retículas de cimentación o de sistemas de piso formados por trabes principales y secundarias). Como se mencionó, se puede efectuar el análisis de retículas de cimentación formadas por contratrabes apoyadas o no sobre zapatas comidas, retículas apoyadas sobre pilotes o pilas, sistemas de piso, sistemas para cubiertas, vigas a torsión, etc. Modela apoyos elásticos y analiza el efecto interacción suelo estructura, al introducir en los resortes equivalentes las propiedades del suelo, de las zapatas o de los pilotes según sea el caso. La opción de apoyos deslizantes permite estudiar casos de esfuerzos inducidos por hundimientos diferenciales.

MESTRU *(Marcos Espaciales).* Grupo de programas que analiza estructuras esqueléticas tridimensionales formadas por barras prismáticas que trabajan deformándose en forma general: flexión en dos planos, torsión y deformación axial. Modela trabes de gran peralte, ménsulas o muros de cortante. Analiza edificios de varios niveles, edificios de forma especial en planta, sistemas de piso, incluyendo el efecto de las columnas, tanques elevados, y en general cualquier estructura tridimensional con barras sometidas a flexión o torsión.

ASTE *(Análisis Sísmico Total de Edificios)*

Programa especializado para análisis sísmico y diseño estructural de edificios, según las Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo y de acuerdo con el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, última versión. Modela edificios que están estructurados a base de marcos o marcos combinados con muros de cortante dispuestos en planta en forma ortogonal o con inclinación respecto a ejes ortogonales. Considera un solo grado de libertad horizontal por nivel , facilitando en forma importante el modelado de losas con alta rigidez en su plano. Analiza marcos del edificio bajo cargas verticales, horizontales de viento o sismo y bajo combinaciones de éstas. Efectúa el cálculo automático de las fuerzas sísmicas por los métodos estático y/o dinámico , cálculo de periodos y modos de vibración, distribución de cortantes sísmicos en planta por efecto de torsión y despliegue gráfico de deformación en marcos y envolventes de diagramas de momentos flexionante y fuerzas cortantes. Analiza estructuras de edificios para uso habitacional o comercial, así como edificios industriales de varios niveles que cuenten con losas en sus entrepisos. Analiza marcos de cualquier geometría (medios niveles, dobles alturas, rampas, contraventeos, cubiertas a dos aguas, etc.) y maneja una gran variedad de apoyos, análisis por temperatura, cálculo automático de peso propio y diseño de trabes de concreto reforzado.

AVANSSE
Programa de análisis tridimensional a base de elementos finitos para el diseño de estructuras de acero. Su utilización está limitada a estructuras convencionales; tiene poca difusión en nuestro medio. Constituye una herramienta interesante para analizar el comportamiento general de la estructura y de los miembros que la forman bajo distintos tipos de solicitaciones.

CAD-SE
Computación para análisis y diseño de sistemas estructurales. Conjuntos de programas para el análisis y diseño de estructuras tridimensionales, de acuerdo con los lineamientos del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Correspondientes. Efectúa el análisis estático lineal, dinámico lineal y estático no lineal. Se basa en el método de rigideces elásticas y toma en cuenta los efectos de carga axial, flexión, cortante y torsión. También se base en el método de vectores de Ritz, considerando las masas localizadas en su lugar preciso y emplea el espectro de respuesta indicado en los parámetro de análisis sísmico de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.

CONXPRT-AISC
Programa para el análisis y diseño de conexiones de estructuras de acero para edificios, desarrollado por el AISC. Se verifican todos los estados límite de resistencia aplicables al diseño de las conexiones, de acuerdo con las Especificaciones AISC- LRFD-1993. También realiza el diseño de conexiones de acuerdo con la teoría elástica o diseño por esfuerzos permisibles (Especificaciones AISC-ASD-1989).

DINÁMICO
Programa para diseño sísmico. Determina períodos, frecuencias, formas modales, cortantes estáticos y dinámicos en estructuras sometidas a vibraciones lineales en una dirección utilizando el RCDF-1993.

DIMA-95
Programa para el dimensionamiento de marcos regulares de concreto reforzado. Diversidad de cargas verticales, diversidad de claros y alturas de entrepiso, de coeficientes sísmicos y de desplazamiento. Tiene implementado el efecto P-delta y determina dimensiones e inercias de trabes y columnas, período fundamental de oscilación y elementos mecánicos de diseño.

DISACERO
Programa de diseño de miembros estructurales de acero, desarrollado por ingenieros mexicanos, de acuerdo con las Especificaciones del AISC, Diseño por Esfuerzos Permisibles o Diseño Elástico. El programa cuenta con un archivo propio de información de perfiles laminados.

DISEÑO-A
Programa de diseño de miembros estructurales de acero, de acuerdo con los lineamientos de las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, correspondientes al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

DRAIN-2D
Programas para análisis no lineal, que determina la respuesta dinámica de estructuras en dos dimensiones con comportamiento inelástico ante movimientos sísmicos. El programa no está limitado a marcos de edificios o estructuras con configuraciones geométricas particulares, sino que puede ser aplicado al análisis de prácticamente cualquier estructura que se pueda idealizar bidimensionalmente. La estructura se idealiza como un conjunto de elementos discretos en el plano. El análisis se efectúa mediante el método de las rigideces con los desplazamientos de los nodos como incógnitas. La estructura puede estar formada por diferentes miembros estructurales, cada uno con diferentes características de fluencia y comportamiento histerético. El programa incluye los siguientes elementos: elemento armadura (este elemento puede fluir en tensión y fluir o pandearse elásticamente en compresión), elemento viga-columna (este elemento puede ser de sección transversal y resistencia variable. Fluye mediante la formación de articulaciones plásticas concentradas en sus extremos. Se puede tomar en cuenta la interacción entre la fuerza axial y el momento flexionante para secciones transversales de acero y concreto reforzado. Se pueden dar valores de los momentos en los extremos del elemento y se puede tomar en cuenta el efecto P-Delta incluyendo la matriz de rigidez geométrica basada en la fuerza axial bajo carga estática, elemento de conexión semirrígido(contiene una relación momento rotación bilineal), elemento muro de cortante (este elemento sirve para representar muros de relleno. El muro tiene únicamente rigidez a cortante y puede fluir y/o fallar en forma frágil), elemento viga(similar al elemento viga-columna pero sin deformaciones axiales) y elemento viga con degradación de rigidez. La respuesta dinámica se

ETABS NO LINEAL
Incluye la versión Plus más análisis no lineal de historia en el tiempo, elementos amortiguadores externos, elementos aisladores de base, elementos gap y elementos hook. Capacidad ilimitada.

FLOORVIB
Programa de evaluación de tolerancias de vibración de sistemas de piso a base de miembros estructurales de acero-concreto; utiliza una gran variedad de criterios, y presenta un reporte final generado para cada evaluación.

GT Strudl
Análisis y diseño estructural con base en la teoría de elementos finitos. Diseño de elementos estructurales y verificación de los requisitos de las Especificaciones AISC, análisis dinámico lineal.

IDARC (Inelastic Damage Analysis Reinforced Concrete)
Programa desarrollado en la Universidad de Buffalo para el análisis sísmico de estructura. Efectúa el análisis inelástico de daños en estructuras de concreto reforzado. Disponible para análisis no lineal (análisis de estructuras en el rango inelástico).

IMAGES 3d
Análisis con base en elementos finitos en dos y tres dimensiones, presenta diagramas de momentos flexionantes y cortantes, efecto P-Delta, análisis dinámico, modal y estático y verificación de las Especificaciones AISC.

LARSA 4
Conjunto de programas para ingeniería estructural y sísmica.

MDX
Análisis y diseño de vigas de acero rectas y curvas de estructuras de puentes, de acuerdo con la última versión de las Especificaciones AASHTO. Revisión de vigas de sección transversal I, vigas en cajón y perfiles laminados, según las Especificaciones AISC-ASD o LRFD, y con unidades del sistema métrico decimal con sus respectivas conversiones.

MERLIN-DASH
Programa para el análisis y diseño de estructuras de puentes. Utiliza unidades del sistema métrico decimal e inglés y analiza miembros de sección variable, de acuerdo con varias especificaciones.

MICASPLUS DESIGN
Conjunto de programas para el detalle de estructuras de acero.

MULTIFRAME 3D
Programa que analiza elementos especiales tales como resortes y juntas articuladas. Utiliza dos sistemas d unidades, sistema métrico decimal o inglés.

MULTIFRAME 4D
Programa para computadora Macintosh para el análisis y diseño estructural. Incluye una base de datos de perfile laminados internacionales.

OPTIMIZER
Programa para el análisis tridimensional de estructuras, análisis estático y dinámico, diseño en acero. Incluye un librería de perfiles laminados y revisa los miembros estructurales de acuerdo con las Especificaciones AISC-ASD LRFD.

P-FRAME
Programa amigable de análisis estructural, para la solución de vigas continuas y estructuras reticulares.

Glosario de términos.

Carda: Consiste en varios alambres apilados y sostenidos por un cuerpo metálico en la cual sirve para quitar el óxido y otras sustancias de los metales.

Carga cíclica o alternada: Es aquella que cambia de dirección o magnitud (o ambas) de forma cíclica o alternada (cigüeñal, amortiguadores, etc.).

Carga de choque forzado: Es cuando una fuerza obliga a dos masas que han colisionado a seguir deformándose después del choque.

Carga de choque libre: Es cuando está producida por la caída de un cuerpo sobre un elemento resistente.

Carga dinámica: Es la fuerza que se aplica con velocidad sobre la pieza que la debe soportar. En este caso la tensión producida es mayor que la de la carga estática, pues la energía cinética de la carga absorbida elásticamente por la pieza, lo cual origina un aumento de la tensión en la misma.

Carga estática: Es la fuerza que se aplica gradualmente desde en valor inicial cero hasta su máximo valor F. Es decir, aquella que es invariable o su magnitud crece de forma lenta (un coche encima de un puente, etc.).

Carga súbita: Es cuando el valor máximo se aplica instantáneamente.

Cargas: Son las fuerzas exteriores inducidas por el clima o un objeto que actúan sobre un cuerpo.

Cepillo de alambre: Es un cepillo normal generalmente plano, pero sus cerdas son de metal, sirve para remover óxidos de metales y otras sustancias.

Cincel: Tipo de herramientas manuales en forma de barra con un extremo afilado, destinadas a cortar, ranurar o desbastar en frio piedras o metales al ser golpeados con un martillo o un mazo.

Creep: Se define como la deformación plástica, no recuperable, que experimenta un material bajo tensiones inferior a su límite elástico. Este fenómeno se suele producir en materiales que están a una temperatura próxima a su temperatura de fusión, pero por debajo de ella.

Deformación elástica: Es la que desaparece por completo cuando el material se descarga.

Deformación o alargamiento: Se produce cuando sometemos un material a una carga, este material experimenta tensión y deformación.

Deformación plástica: Es la que no se recupera al cesar la carga aplicada.

Dureza de Brinell: Se emplea para determinar la dureza de un material mediante la penetración en él de una esfera o bola de acero templado de determinado diámetro en la superficie que se ensaya, bajo una carga dada y durante determinado intervalo de tiempo.

Elasticidad: Es la propiedad mecánica que tienen ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original

Escoria: Es un material que contiene sustancias inútiles de un material.

Esfuerzo: Es la fuerza que hace un elemento de la estructura para no ser deformado por las cargas. Los esfuerzos pueden ser: esfuerzos compuestos y esfuerzos variables.

Esfuerzos compuestos: Es cuando una pieza se encuentra sometida simultáneamente a varios esfuerzos simples, superponiéndose sus acciones.

Esfuerzos variables: Son los esfuerzos que varían de valor e incluso de signo. Cuando la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo es 0, el esfuerzo se denomina alternado.

FCAW: Flux Cored Arc Welding, traducido como soldadura por arco con núcleo fundente. Es un proceso de soldadura de arco eléctrico que utiliza el arco formado entre un electrodo alimentado continuamente, que es el metal de aporte, y el charco de soldadura. El proceso emplea gas (que proviene de ciertos componentes del fundente que está contenido dentro del alambre tubular) para proteger el metal líquido cuando el arco está encendido; con o sin protección adicional proveniente de un gas suministrado externamente, y sin la aplicación de presión.

Fuerzas internas: Son las fuerzas que reaccionan debido a las cargas a las que se somete un cuerpo. Es decir, son las fuerzas que van a tratar de mantener el cuerpo unido.

GMAW: Gas Metal Arc Welding, traducido como soldadura por arco metálico con gas. Este proceso de soldadura se establece un arco eléctrico entre un alambre que es alimentado de manera continua y la pieza a soldar. La protección del arco, se efectúa a través de un gas que puede ser inerte (Argón o Helio).

Ksi o Kips: Es la presión, exactamente en kilo-libras (miles de libras) de fuerza por pulgada cuadrada que se ejercen sobre un objeto. Un Ksi son 1,000 psi, o libras de fuerza por pulgada cuadrada.

1 Ksi = 1,000 Psi, 1 Psi = 0.001 Ksi

1 Ksi = 6.89475 MPa, 1 MPa = 0.14503 Ksi

1 Ksi = 0.0068947 GPa, 1 GPa = 145.03773 Ksi

1 Psi = 0.006894 MPa, 1 MPa = 145.03773 Psi

1 Ksi = 703069.57964 Kgf/m^2

1 Ksi = 70.30695794 Kgf/cm^2

1 Ksi = 0.7030695794 Kgf/mm^2

Master: Instrumento similar a un molde en el cual contiene las medidas y tolerancias adecuadas para la elaboración de alguna pieza en particular.

Momento o Torque: Son fuerzas que generan un giro. Se requiere tener una fuerza y distancia.

Momento: Es una magnitud vectorial, obtenida como producto vectorial del vector de posición del punto de aplicación de la fuerza con respecto al punto al cual se toma el momento por la fuerza.

Momento flector: Es el momento que actúa en una sección respecto al eje de la sección perpendicular, al plano en que está situada la barra. Se denomina flector porque, tiende a hacer flexionar la barra que lo soporta.

Módulo de Poisson: Es un indicativo de la deformación de un trozo de material ante la aplicación de ciertos esfuerzos, siendo una característica adimensional de

cada material. que indica la relación entre las deformaciones longitudinales que sufre el material en sentido perpendicular a la fuerza aplicada y las deformaciones longitudinales en dirección de la fuerza aplicada sobre el mismo.

Nodo: Es la unión o intercesión de más de dos barras.

Pascal: Unidad de medida de presión del Sistema Internacional de Unidades. Un Pascal se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 Newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado($1 N/m^2$). Si dicha superficie se disminuye a 1 mm^2 se le conoce como MPa.

1 N/m^2 = 0.000001 N/mm^2, 1 N/m^2 = 0.0001 N/cm^2, 1 N/cm^2 = 0.01 N/mm^2

1 N/m^2 = 0.101976 Kgf/m^2

1 N = 0.1019716 Kgf

Pulido: Es un proceso de lijado ultrafino, en varios pasos que combina el uso de abrasivos y se elimina cualquier partícula en el material.

Rebaba: Sobrante o un desecho que sobresale de manera irregular en un borde o cualquier superficie.

Rebabeado: Proceso por el cual se quita la rebaba de una superficie o material.

Remachar: Consiste en unir dos o más piezas con elementos metálicos cilíndricos que se deforman.

Resistencia: Es cuando el cuerpo mantiene su capacidad para resistir a las fuerzas, aun cuando la carga produce una deformación.

Rigidez: Es cuando el cuerpo mantiene su forma y no produce deformación, a pesar de estarle aplicando cargas.

SAW: Submerged Arc Welding, traducido como soldadura de arco sumergido que comúnmente es un proceso de soldadura mecanizada o automática. En el que extremo de un electrodo continuo de alambre desnudo se inserta en un montículo de fundente que cubre el área o la unión que se va a soldar, se enciende el arco. A continuación, un mecanismo alimentador de alambre comienza a introducir el electrodo en la unión a una velocidad controlada, y el alimentador se desplaza manual o automáticamente a lo largo de la soldadura.

SMAW: Shield Metal Arc Welding, traducido como blindaje de soldadura de arco metálico, que comúnmente es un proceso manual de soldadura por arco eléctrico entre un electrodo revestido y un metal base.

Tensión de compresión: Es la que se opone a una fuerza que tiende a comprimir el cuerpo.

Tensión de tracción: Es la que se opone a una fuerza que tiende a estirar el cuerpo. Se produce sometiendo al cuerpo a dos cargas de igual dirección, sentido contrario y divergentes.

Tensión tangencial: Es la que se opone a un movimiento de torsión o de desplazamiento de una parte del cuerpo hacia otra. Se produce sometiendo al cuerpo a dos cargas de direcciones paralelas y sentido contrario, convergente o divergente. También se denomina tensión de corte, cizalla o flexión.

Tensión: Es la reacción que se produce en el interior de la pieza a ensayar, cuando sobre ésta se aplica una carga. La tensión es siempre de la misma magnitud y de sentido contrario a la carga aplicada.

Vector: Es una herramienta geométrica utilizada para representar una magnitud física del cual depende únicamente un módulo (o longitud) y una dirección (u orientación) para quedar definido.

Vigas cantiléver: Cualquier viga, travesaño u otro miembro estructural que se representa de forma voladiza, también llamadas como vigas voladizas.

Agradecimientos especiales a:

USAI Servicios Industriales

Ing. Covarrubias