



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de una recámara para el proceso de granallado de vigas
metálicas”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Alex Iván Fernández Cuenca

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mi camino y ayudarme a cumplir con las metas propuestas.

A mis padres, por estar en todo momento conmigo dándome un gran ejemplo a seguir.

A mis familiares y amigos por ser una parte importante de mi vida y apoyo en todo momento para salir adelante.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

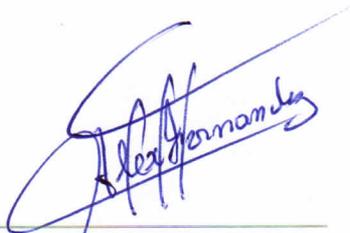
Alex Iván Fernández Cuenca

Ing. Ernesto Martínez

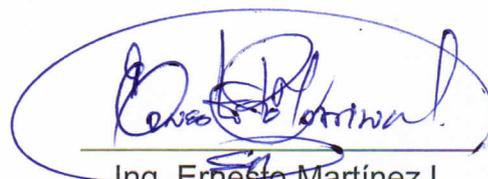
Ing. Rodolfo Paz

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.



Alex Fernández C.



Ing. Ernesto Martínez L.
Director de Proyecto

RESUMEN

La Industria Metal Mecánica en el país incurre en costos elevados, al buscar una preparación superficial que permita que la pintura se adhiera correctamente al material en el proceso de fabricación de vigas metálicas, tanques, estructuras metálicas, etc.

La ciudad de Guayaquil cuenta con una empresa de gran prestigio, que necesita diseñar y construir una recámara para el proceso de granallado de vigas metálicas, que refleje un ahorro de tiempo y dinero con su puesta en marcha.

El objetivo principal de este proyecto, es diseñar un cuarto de granallado, que permita limpiar por chorro abrasivo vigas metálicas, el mismo que debe estar constituido por partes y elementos normalizados, con la finalidad de tener acceso a estos componentes en el mercado nacional.

Se utilizó una matriz de decisión para determinar el sistema de acabado superficial adecuado que nos ayude a solucionar el problema. Se buscó la asequibilidad de la operación, reparación y mantenimiento del sistema, de esta manera se aseguró que el proceso de diseño sea el idóneo.

Los materiales que se utilizaron fueron planchas y perfiles de acero ASTM A-36, para paredes y pórticos.

Esta propuesta se enfocó en el estudio de las características físicas y mecánicas de la granalla, con lo que se determinó el tipo de transporte a utilizar en la recirculación de dicho material.

Como resultado de este proyecto, se definió en primer lugar las dimensiones del cuarto las mismas que fueron de 15,230 [m] de largo, 6,850 [m] de ancho y 5,350 [m] de alto. También se especificó el proceso de construcción y montaje de la recámara de granallado, además del cronograma se determinó el costo de la inversión necesaria para la ejecución de este proyecto.

El diseño de un cuarto de granallado representó un beneficio no solo económico sino también de tipo ambiental ya que la granalla metálica no es contaminante, puede ser reciclada y reutilizada.

Palabras clave

Preparación superficial: La preparación superficial en los metales es el conjunto de acciones realizadas sobre el área del metal y cuyo objetivo es mejorar la adhesión de la superficie de dicho elemento metálico.

Diseño: es el conjunto de acciones y procesos para lograr solucionar de forma eficaz algún problema de estudio.

Granalla metálica: La granalla metálica es un abrasivo que se lo utiliza en el tratamiento de superficies por granallado.

Recirculación: Se basa en bifurcar la corriente principal del proceso hacia el inicio de este.

ABSTRACT

Metal Engineering in the country incurs high costs, to seek a surface preparation that allows the paint to adhere properly to the material in the manufacturing process of steel beams, tanks, steel structures, etc.

The city of Guayaquil has a highly respected company, you need to design and build a bedroom for the blasting process of metal beams, which reflects a savings of time and money with its implementation.

The main objective of this project is to design a room blasting, allowing abrasive jet cleaning metal beams, the same should consist of standardized parts and components, in order to have access to these components in the domestic market.

A decision matrix was used to determine the appropriate surface finish system to help us solve the problem. Affordability of the operation, repair and maintenance of the system, so to ensure that the design process is the ideal sought.

The materials used were iron and steel profiles ASTM A-36 for walls and porches.

This proposal focused on the study of the physical and mechanical characteristics of the grit, which transport type was determined using the recirculation of the material.

As a result of this project, first it defined the dimensions of the room were the same as 15,230 [m] long, 6,850 [m] wide and 5,350 [m] high. The process of construction and assembly of the blasting chamber is also specified, in addition to schedule the cost of the investment required for the implementation of this project was determined.

The design of a room blasting represented not only economic but also environmental benefits such as the metal shot is clean, can be recycled and reused.

Keywords

Surface preparation: *The surface preparation in metals is the set of actions taken over the area of metal and aims to improve the adhesion of the surface of said metallic element.*

Design: *The set of actions and processes for efficiently solving a problem of study.*

Metal shot: *The metal is an abrasive grit that is used in the treatment of surfaces by blasting.*

Recycling: *Is based on the mainstream of the process towards the beginning of this.*

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
INDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X

CAPÍTULO 1.....	1
1 Introducción	1
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Planteamiento del problema	8
1.3. Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2 Metodología del diseño.....	10
2.1. Alternativas y selección del sistema idóneo para la solución del problema	10
2.1.1 Chorro de arena	10
2.1.2 Tamboreo	11
2.1.3 Barrillado	11
2.1.4 Chorro de granalla	12
2.2 Matriz de decisión.....	15
2.3 Descripción del sistema óptimo	16
CAPÍTULO 3.....	21
3 Diseño de una recámara para el proceso de granallado de vigas metálicas	21
3.1. Descripción de la recámara de granallado	21
3.2. Dimensionamiento de la recámara	22
3.3. Estructuración de la recámara.....	22
3.4. Requerimientos y selección de los elementos del sistema de granallado ..	23
3.4.1. Selección de la boquilla de granallado	23
3.4.2. Capacidad de la tolva.....	24

3.5. Dimensionamiento y selección de los elementos del sistema de recolección de granalla	25
3.5.1. Cangilones	26
3.5.2. Diámetro del tambor de accionamiento	27
3.5.3. Potencia requerida	28
3.5.4. Diámetro del tambor de reenvío.	29
3.5.5. Transportador de cangilones.....	29
3.6. Selección de los elementos del sistema de limpieza y filtrado	31
3.6.1. Limpiador de granalla.....	31
3.6.2. Recolector de polvos.....	32
CAPITULO 4.....	34
4 Factibilidad de implementación del diseño de la recámara	34
4.1. Cronograma de construcción del diseño	34
4.2. Costos	36
4.2.1. Costos por adquisición de materiales.....	36
4.2.2. Costo por adquisición de equipos	36
4.2.3. Costo de mano de obra.....	37
4.2.4. Costo total	38
CAPITULO 5.....	39
5 Discusión y conclusiones.....	39
5.1. Conclusiones	39
5.2. Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
APÉNDICES.....	42

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
SSPC	Steel Structures Painting Council
SIS	Swedish Standards Institution
NACE	National Association of Corrosion Engineer
Sa	Chorro abrasivo
C	Abrasivo Proyectado
Pa	Costo de abrasivo
R	Factor de reciclaje
Ch	Costo del abrasivo
Cm	Costo del abrasivo por metro cuadrado de proceso
E_c	Energía cinética
m	Masa de la partícula
v	Velocidad de la partícula
ρ	Densidad
r	Radio de partícula
SP10	Chorro abrasivo cercano a metal blanco
SP5	Chorro abrasivo metal blanco
Q	Capacidad del elevador de cangilones
P	Peso del volumen de granalla en un cangilón
V	Velocidad de los cangilones
d	Distancia entre cangilones
ϕ	Coeficiente de llenado del cangilón
F_c	Fuerza centrífuga
W	Peso
g	Gravedad
N	Potencia total
N_1	Potencia requerida
N_2	potencia requerida para vencer el esfuerzo de carga
Q	Capacidad
H	Altura
H_1	Valor de corrección de acuerdo con la altura
T_s	Tensión generada por el peso de un tramo o ramal de la banda descargada más el peso de los cangilones aplicados
T_m	Tensión provocada por el peso del material contenido en los cangilones del mismo ramal más el esfuerzo de carga
P_n	Peso de 1 metro de banda
P_t	Peso de un cangilón
P_m	Peso del material por cangilón
h	Paso entre cangilones

T_{max}	Tensión máxima
n	número de telas de la banda
l	Ancho de la banda
z	Carga de trabajo de la tela
IVA	Impuesto al valor agregado
EPP	Equipo de protección personal

SIMBOLOGÍA

m	Metro
RC	Rockwell C
MOHS	Dureza de Mohs
Mesh	Mesh-espaciado de malla
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico
m ³ /min	Metro cúbico por minuto
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m ² /h	Metro cuadrado por hora
Kg/h	Kilogramo por hora
μ	micra
\$/ton	Dólares por tonelada
\$/Kg	Dólares por kilogramo
Kg	Kilogramo
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetros
in	Pulgada
m ³	Metro cúbico
rpm	Revoluciones por minuto
CFM	Cubic feet per minute (Pies cúbicos por minuto)
psi	Pounds-force per square inch (Libra por pulgada cuadrada)
Lbs/h	Libras por hora
HP	Horse power (Caballo de fuerza)
h	hora
ton	tonelada
Ton/h	Tonelada por hora
In ³	Pulgada cúbica
Lbs	Libras
kg/m	Kilogramo por metro
kg/m ²	Kilogramo por metro cuadrado
Kg/dm ³	Kilogramo por decímetro cúbico
kg/cm/tela	Kilogramo por centímetro por tela

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Sistema de sandblasting	3
Figura 1-2 Arena silícica	4
Figura 1-3 Granalla metálica	5
Figura 2-1 Chorro de arena	10
Figura 2-2 Tamboreo	11
Figura 2-3 Barrillado	12
Figura 2-4 Chorro de granalla.....	12
Figura 2-5 Granalla metálica	14
Figura 2-6 Cabina de Granallado Speed Plus Interior	18
Figura 2-7 Cabina de Granallado	18
Figura 2-8 Cabina de Granallado	20
Figura 3-1 Diseño 3D del Cuarto de granallado	22
Figura 3-2 Configuración típica de un elevador de cangilones con descarga centrífuga.....	25
Figura 3-3 Cangilón de perfil bajo.....	27
Figura 3-4 Fuerzas que actúan sobre los cangilones para determinar el diámetro del tambor	28
Figura 3-5 Limpiador de granalla.....	32
Figura 3-6 Recolector de polvos.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencia entre arena y granalla.....	5
Tabla 2. Diferencia de equipos entre arena y granalla	6
Tabla 3. Diferencia de abrasivos entre arena y granalla	6
Tabla 4. Resultados de arena y granalla	6
Tabla 5. Abrasivo proyectado, costo y factor de reciclaje.....	7
Tabla 6. Costos	7
Tabla 7. Influencia de las dimensiones de las partículas esféricas sobre su energía cinética relativa y sobre la cantidad de partículas en un kg de granallas de acero	13
Tabla 8. Matriz de decisión.....	15
Tabla 9. Consumo aproximado de aire según el diámetro y presión de la boquilla.....	23
Tabla 10. Consumo aproximado de granalla según el diámetro y la presión de la boquilla	24
Tabla 11. Valores de h_1 para determinar la potencia para vencer el esfuerzo de carga	29
Tabla 12. Resumen de cálculo para determinar la tensión T_s	30
Tabla 13. Resumen de cálculo para determinar la tensión T_m	30
Tabla 14. Valores de “z” para determinar el número de telas de la banda	31
Tabla 15. Cronograma de actividades	35
Tabla 16. Costo de materiales para la construcción del cuarto de granallado	36
Tabla 17. Costo de equipos importados	37
Tabla 18. Costo de equipos de adquisición local.....	37
Tabla 19. Costos por mano de obra para instalaciones	38
Tabla 20. Costo total del proyecto	38

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Y 2	Losa de hormigón armado
PLANO 3	Estructura del cuarto de granallado
PLANO 4	Encofrado tipo 1
PLANO 5	Encofrado tipo 2
PLANO 6	Encofrado tipo 3

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

El proceso de limpieza superficial denominado sandblasting consiste en el chorreado de arena hacia la superficie de una estructura metálica.

Como la densidad de la arena es mucho menor a la del acero su impacto produce polvo, el mismo que genera una contaminación severa para el ambiente y es perjudicial en la salud de las personas que operan este tipo de sistemas.

Esto motivó a que se buscara otro tipo de sistema que permitiera obtener una mayor producción de limpieza y acabado superficial en vigas y que además se encuentre bajo las normas ambientales permitidas. Considerando todo esto, se optó por desarrollar un proyecto que consiste en el diseño de una recamara de granallado.

Para este sistema se necesitará un tipo de granalla adecuado que permita alcanzar el acabado superficial que las vigas metálicas requieran, un sistema de recolección, extracción de polvos, un sistema de recirculación y un sistema de granallado.

Este sistema es mucho más óptimo que el sandblasting debido a que se utiliza la granalla metálica, la misma que al impactar con la superficie de una viga de acero es poco afectada en sus propiedades mecánicas, lo cual permite su recolección y posterior utilización.

Para la recolección se utilizará una banda transportadora que se conecta a un transportador de cangilones, el mismo que ayudará en la recirculación de la granalla luego de esto la granalla se someterá a una limpieza y recolección de polvos a través de filtros y aire, para finalizar la granalla se depositará en una tolva que se conecta al sistema de granallado.

Teniendo en cuenta que nuestra zona geográfica es constantemente afectada por el invierno, hay que tomar medidas en la construcción del cuarto para evitar inundaciones en la fase de fundición.

Un punto muy importante que se tiene que manejar es el aspecto económico. Las piezas y elementos de nuestro sistema deben ser accesibles de encontrar en el mercado nacional, importando solo piezas especiales y dejando el resto del sistema para el ensamble en la misma planta.

Beneficios

La implementación de un cuarto de granallado permite aumentar la productividad dentro de empresas que trabajan con piezas metálicas, debido a que este proceso puede realizarse en jornadas diurnas y nocturnas sin afectar a personas o lugares que se encuentren cerca del sitio donde se realiza el granallado.

Además al ser la granalla reutilizable, implementar un sistema semi-automatizado permitirá optimizar el tiempo que conlleva la recolección y filtrado de la granalla que se volverá a usar.

Hipótesis

El uso de granalla metálica para la limpieza de piezas de acero por chorro abrasivo disminuye la polución al momento del impacto y mejora los costos de operación por ser reutilizable.

En cuanto a las ventajas que presenta el uso de un cuarto de granallado, se encuentra el aumento en la producción de una empresa que realiza este tipo de actividad, ya que este proceso puede ser realizado a cualquier hora del día sin afectar a otras áreas de trabajo a su alrededor.

1.1. Descripción del problema

La mayoría de los metales son protegidos contra la corrosión, oxidación o manchas, provocadas por la exposición a la intemperie, con aceites u otros recubrimientos protectores. En las superficies se necesita realizar una limpieza previa para realizar las operaciones de tratamientos térmicos, soldadura, fosfatizado, pintura y electrodeposición. Dicha limpieza continúa en las operaciones de estampado, maquinado, tratamiento térmico, desbastado y pulido, y está considerada como una etapa esencial en las operaciones de acabado y fabricación de piezas metálica.

El proceso de limpieza y acabado superficial que ejecuta esta empresa es obsoleto, nocivo para la salud y el ambiente ya que se lo realiza al aire libre lo que provoca que el polvo que se genera se disperse, adicional a esto, este sistema es costoso en comparación con la cantidad de producto terminado y con un índice de retraso considerable que le están impidiendo la competitividad industrial.

1.1.1 Antecedentes

La fabricación de vigas metálicas es en definitiva el producto que más demanda tiene en esta empresa.

Para conseguir este producto terminado, la viga metálica debe ser sometida a un proceso de acabado superficial para luego aplicarle un revestimiento según lo que la norma y las especificaciones del proyecto demanden.

El proceso de acabado superficial que esta empresa aplica es el sandblasting. El sandblasting opera de la siguiente forma:

- Se utilizan tolvas donde se vierte la arena.
- Esta tolva se conecta al equipo a través de tubos flexibles por los que circula aire.
- La arena se dirige al chorro por medio de un vacío provocado y es lanzada finalmente a la superficie de la viga metálica.

El impacto de la arena sobre la superficie de la viga metálica desprende los óxidos produciendo polvo que es nocivo para el ambiente.

La figura 1-1 muestra un sistema de sandblasting

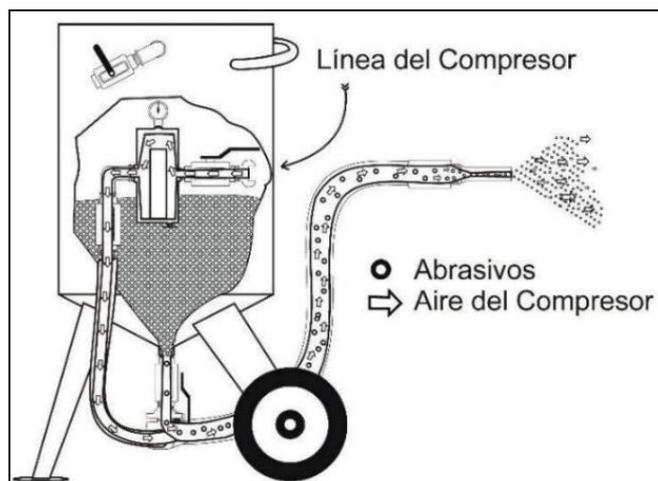


Figura 1-1 Sistema de sandblasting [Fuente: www.chipaxa.com]

El alto nivel de sílice en la composición de la arena hace que su aplicación en este tipo de procesos, afecte peligrosamente a los operadores, ya que este polvo generado al ser inhalado, llega a los pulmones y causa la silicosis, enfermedad pulmonar degenerativa que si no se trata a tiempo produce la muerte.

La ordenanza municipal que pone en vigencia y aplicación el subsistema de evaluación de impactos ambientales del gobierno provincial del guayas, en su artículo 12.- DEFINICION Y ALCANCE DE LICENCIA AMBIENTAL, indica que la licencia ambiental es la autorización que otorga el gobierno provincial del guayas a una persona natural o jurídica, publica, privada o mixta, nacional o extranjera, para la ejecución, operación, cierre y/o abandono de proyectos o actividades. En ella se establecen los requisitos, obligaciones y condiciones que el beneficiario debe cumplir para prevenir, mitigar o corregir impactos ambientales negativos que el proyecto o actividad pueda causar al ambiente. (Del Pozo Barrezueta, 2010, p.5)

El tiempo que se emplea en obtener el acabado superficial necesario para proceder al revestimiento de las vigas metálicas, el aumento de producción debido a la obtención de numerosos contratos y considerando el artículo 12 de la ordenanza municipal del gobierno provincial del Guayas, que prohíbe la contaminación ambiental que produce el proceso de sandblasting han llevado sin lugar a dudas, al desarrollo de este proyecto.

1.1.2 Características de la arena y de la granalla de acero

Arena

Es un abrasivo natural el cual tiene una gran disponibilidad y bajo costo, es esta el motivo por el nombre a los procesos de preparación de superficie por proyección de partículas llamados comúnmente "arenado". El tipo de arena que se utiliza, es la arena silícica la cual tiene la dureza necesaria para este tipo de trabajo. Al ser un abrasivo natural debe ser sometido a análisis, debido a los contaminantes que puede arrastrar

desde su lugar de origen, dunas, ríos, canteras, etc. En la figura 1-2 se muestra arena silícica



Figura 1-2 Arena silícica [Fuente: <http://www.sumiladelalaguna.com>]

La arena no debe utilizarse a granel sino debe ser tamizada, descartando los finos que no realizan trabajo sobre la superficie y los gruesos que obturarían el equipo. También debe ser sometida a proceso de secado y protegida por su capacidad de absorber humedad. Es extremadamente frágil y proyectada por equipos de alta producción solo se la puede utilizar una sola vez debido a que más del 80 % se transforma en polvo luego del primer golpe. Crea una gran polución en el ambiente de trabajo y sus cercanías por la fragilidad de sus partículas que se convierten luego del impacto, en un alto porcentaje, en polvos con tamaños inferiores a malla 300 Mesh.

Debido a su composición, al partirse finamente deja sílice libre que es la causa de una enfermedad irreversible que se denomina silicosis, lo que hace extremar los requerimientos de seguridad y que ha provocado la prohibición del uso de la arena como abrasivo en la mayoría de los países tecnológicamente avanzados.

Granalla de acero

Es un abrasivo que se obtiene a través de un proceso tecnológico con hornos de fusión y composiciones químicas controladas.

Del proceso primario de fabricación se obtienen partículas redondeadas que constituyen las granallas de acero esféricas (shot). Estas partículas en el estado de mayor diámetro pueden partirse y dar lugar a las granallas de acero angulares (grit). Para aquellos trabajos en donde se reemplaza el uso de la arena se utilizan exclusivamente granallas angulares, en algunos casos con el agregado de un pequeño porcentaje de granalla esférica. Una partícula de granalla angular presenta aristas y puntas y al ser proyectada trabaja como una herramienta que clava y arrastra en la superficie a procesar. La figura 1-3 muestra la granalla metálica

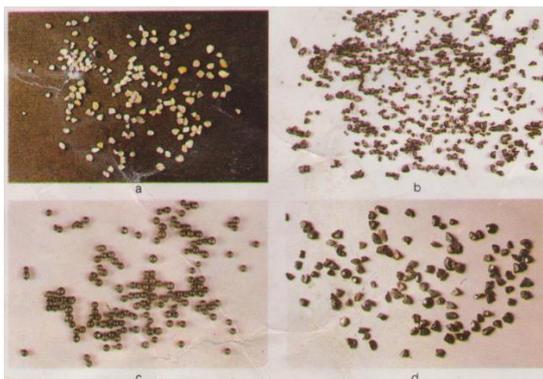


Figura 1-3 Granalla metálica [Fuente: HEMPEL S.A.]

En este abrasivo, puede ser seleccionado de acuerdo al trabajo a realizar no solo el tamaño de la partícula, uniforme en todas ellas, sino la dureza en determinados rangos. Este abrasivo es altamente reciclable pudiendo ser proyectado de 300 a 1000 veces. Al ser partículas de acero templado y revenido no provocan ningún problema de contaminación cuando se trabaja sobre acero. El polvo producido en la operación es solo resultado de los materiales removidos sobre la superficie a tratar. No necesitan secado previo, debido a no absorber humedad y al ser todas las partículas de similar granulometría, producen un trabajo totalmente uniforme.

Podemos reseñar en la tabla 1, las principales características de ambos abrasivos:

Tabla 1. Diferencia entre arena y granalla

	Tipo	Forma	Dureza	Densidad	Silice libre	Factor de polución	Mallas disponibles	Factor de reutilización
Arena	silicia	irregular redondeado	5-6 MOHS	1600 Kg/m ³	90 %	alto	6-300	x 1
Granalla de acero	metálica	angular	40-68 RC	4000 Kg/m ³	0	muy bajo	18-200	x 500

[Fuente: Blasting S.A.]

1.1.3 Utilización de arena y granalla de acero en lugares cerrados

Conocidas las distintas características de la arena y la granalla de acero podemos reseñar cómo se comporta cada abrasivo trabajando en lugares cerrados.

La arena producirá una altísima polución respecto de la granalla, necesitando sistemas de extracción y filtrado de 3 a 5 veces más grande que los necesarios para la granalla metálica. Estos equipos de extracción y filtrado constituyen la parte más costosa de la instalación y si se utiliza arena se multiplica ese costo de 3 a 5 veces, además, como mínimo, se duplica el mantenimiento de los elementos filtrantes.

Si se utiliza granalla de acero es necesario un sistema de recuperación y limpieza del abrasivo para poder reutilizarlo en forma eficiente. Para la arena es necesario un sistema de recolección y disposición final. Con estos elementos podemos realizar el siguiente estudio económico

A modo de ejemplo supongamos el mismo trabajo realizado con arena o granalla metálica durante una hora de trabajo.

Tabla 2. Diferencia de equipos entre arena y granalla

Equipos		Arena	Granalla Metálica
	De presión	BL 350 A	BL 350 A
	Boquilla	Venturi larga 8 mm.	Venturi larga 8 mm.
	Equipo de protección	Bullard Serie 88	Bullard Serie 88
	Compresor de aire	5 m ³ /min a 7 Kg/cm ²	5 m ³ /min a 7 Kg/cm ²

[Fuente: Blasting S.A.]

Tabla 3. Diferencia de abrasivos entre arena y granalla

Abrasivos	Tipo	Arena	Granalla angular de acero
	Granulometría	16/30	G50
	Factor de reciclado "X"	1	500 (mínimo)
	Polución	Muy elevada	Mínima
	Abrasivo proyectado "C" Kg / h	(0,2 m ² /h) 320 Kgs./h	(0,2 m ² /h) 800 Kgs./h
	Costo "Pa" US \$	\$ 30,00 / tn. \$ 0,03 / Kg	\$ 1000,00 / tn. \$ 1 / Kg

[Fuente: Blasting S.A.]

Nota: el costo promedio de los abrasivos solo es orientativo.

Tabla 4. Resultados de arena y granalla

Resultados		Arena	Granalla
	Rendimiento	15 m ² / hora	15 m ² / hora
	Grado de granallado	Sa 2 ½	Sa 2 ½
	Rugosidad	30 - 60 μ (no uniforme)	50 μ

[Fuente: Blasting S.A.]

Con los datos de las tablas anteriores se puede obtener:

- Cantidad de abrasivo proyectado por hora de trabajo.
- Costo del abrasivo por hora de trabajo.
- Costo del abrasivo por [m²] de proceso.

Tabla 5. Abrasivo proyectado, costo y factor de reciclaje

	Arena	Granalla metálica
Abrasivo proyectado "C"	320 Kg	800 Kg
Costo del abrasivo "Pa"	\$ 0,03 / Kg	\$ 1 / Kg
Factor de reciclaje "R"	1	500

[Fuente: Blasting S.A.]

Tabla 6. Costos

Costo del abrasivo por hora de trabajo	$Ch = C \times Pa / R$	$320 \times 0,03 / 1 = \$ 9,6 / h$	$800 \times 1 / 500 = \$ 1,6 / h$
Costo del abrasivo por mt2 de proceso	$Cm = Ch / Rend$	$9,6 / 15 = \$ 0,64 / m^2$	$1,6 / 15 = \$ 0,10 / m^2$

[Fuente: Blasting S.A.]

El costo del abrasivo es cerca de seis veces mayor en el caso de usar arena y no granalla metálica.

1.1.4 Equipos

Se utilizan equipos similares de proyección y protección del operador. Sin embargo la arena es un 20% más abrasiva y produce un desgaste mayor de la línea de transporte de abrasivos, mangueras, acoples y boquilla en esa proporción.

El equipo de filtrado para la arena, es de 3 a 5 veces mayor que para la granalla. Como ese equipo representa el 30 % del costo de la instalación esta se incrementa en un 50% respecto de la de granalla. Además se debe considerar que el mantenimiento de las superficies filtrantes será mensual para la arena y semestral para la granalla metálica o sea 5 veces superior para el caso de la arena.

Si simplificamos en un 15 % del valor del equipo de extracción y filtrado el costo de los elementos filtrantes, en un año ese costo de mantenimiento iguala al costo total de la instalación.

Aire Comprimido

“Aire comprimido es el aire atmosférico, el cual ha sido impulsado a una serie de tuberías por medio de un compresor hasta equipos o procesos que aprovechan la presión del aire para desarrollar sus funciones” (KAESER, 2003, p.1-1). En este caso en particular el aire comprimido se lo utiliza para realizar el chorreado de material abrasivo sobre la superficie de una estructura metálica.

El compresor genera aire caliente, el mismo que conteniendo agua y aceite; el aire caliente entra al pulmón, toca la superficie fría del interior del rolado del pulmón, donde condensa y con la purga se elimina el agua q contiene el aire. Por eso es importante agregar un pulmón entre el compresor y la tolva de granallado. El pulmón se ubica en un lugar con sombra para mantenerlo frío y así permita que sus paredes

condense el agua. Luego del pulmón se instala un filtro coalescente dimensionado para el caudal requerido, con esto se termina de retirar el agua y aceite que aun contiene el aire. (BLASTING, s.f.)

El sistema de aire comprimido se constituye de la siguiente forma:

- Compresor
- Pulmón
- Filtro coalescente
- Equipo de operario y equipo de chorro abrasivo.

Tanto el sandblasting como el granallado utilizan el mismo sistema de aire comprimido.

Rendimientos

Si bien los rendimientos de trabajo en m²/h son similares al igual que los grados de determinación logrados (Sa), las rugosidades obtenidas son absolutamente uniformes en el caso de la granalla de acero y con variaciones según la zona de la superficie tratada en el caso de la arena.

El uso de la granalla de acero en recintos cerrados, es extremadamente ventajoso respecto de la arena. Se obtienen apreciables ventajas en el costo del abrasivo (cerca de seis veces), costo y mantenimiento de los equipos, mejor calidad en cuanto al trabajo realizado, sumado a la baja contaminación ambiental y a no tener el riesgo de silicosis para la salud de los operarios.

Por todo lo expuesto se recomienda el uso de la granalla de acero para trabajos en lugares cerrados, tanques, blast-room, etc. evitando por completo la utilización de arena en esos recintos.

1.2. Planteamiento del problema

Debido a las múltiples desventajas que actualmente mantiene la industria en el proceso de limpieza y acabado superficial de vigas metálicas se ha optado por obtener el diseño de un cuarto de granallado que cumpla con sus necesidades. El mismo se detalla a continuación.

Diseñar una recámara para el proceso de granallado de vigas metálicas. El sistema de recolección de la granalla debe ser semi-automático y el diseño en general de la recámara debe contemplar la utilización en su mayoría de materiales de fácil adquisición en el mercado nacional.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un cuarto de granallado, que permita limpiar por chorro abrasivo vigas de hasta 3 [m] de alto, 1.2 [m] de ancho y 12 [m] de longitud.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar materiales de adquisición local para la construcción de la cabina de granallado.
- Dimensionar y seleccionar los equipos que se requieren para el funcionamiento del cuarto de granallado.
- Determinar el tiempo requerido para elaborar el diseño y construcción del cuarto de granallado.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1. Alternativas y selección del sistema idóneo para la solución del problema

El proceso de limpieza de vigas metálicas se lo puede realizar de diferentes métodos como son, de chorro de arena, chorro de granalla, chorro de agua, tamboreo y Barrillado.

2.1.1 Chorro de arena

El chorro de arena es uno de los métodos más antiguos para limpiar superficies, pero su uso ha declinado durante los últimos 70 años. El proceso consiste en dirigir la arena a alta velocidad sobre el componente. Muchas plantas utilizan mezclas de agua y arena (llamadas lodos), como chorro. El lodo se alimenta al chorro mediante una manguera flexible de hule. El lodo que se emplea se recolecta en la cámara de asentamiento y se separa por medio de filtros y bombas para usarlo posteriormente. La cantidad de chorro a integrar depende de:

- El tipo y capacidad del equipo.
- La cantidad de material que se desea retirar.
- El tipo de escama en la pieza de trabajo.

Se utiliza arena de diferentes tamaños de grano para limpiar componentes mediante esta técnica. Para limpiar limas se utiliza una mezcla de arena fina y agua. Las partículas gruesas de arena se integran mediante presión neumática para limpiar fundiciones y forjas. La operación de limpieza por chorro de arena es económica ya que la arena se consigue fácil y económicamente.

La selección de la arena debe de hacerse con cuidado pues la que es muy ordinaria no es adecuada debido a que no posee aristas afiladas.

La figura 2-1 muestra el sistema de limpieza por chorro de arena.



SANDBLASTING

Figura 2-1 Chorro de arena [Fuente: <http://estructuras-metalicas.mx/nuestros-servicios/galvanizadosandblasting/>]

2.1.2 Tamboreo

Al tamboreo también se le conoce como frotación. Es el proceso de limpieza de partes metálicas pequeñas con la ayuda de un abrasivo. El procedimiento consiste en introducir las piezas metálicas en el tambor y hacerlo girar sobre los muñones las partes que se desean limpiar se empaican ajustadamente en el tambor.

Se puede decir que el tamboreo es una operación de acabado de metales ya que elimina una gran cantidad de metal y produce superficies limpias. Debido a que se trata de un proceso de remoción de metal no se puede utilizar en la limpieza de componentes que tengan esquinas por que se vuelven redondas. La figura 2-2 muestra el proceso de tamboreo.



TAMBOREO

Figura 2-2 Tamboreo [Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos71/caracteristicas-acabado-superficial/image040.jpg>]

2.1.3 Barrillado

Es un proceso de limpieza de metales mediante la acción de tamboreo de los componentes. Esta acción tiene lugar con la ayuda de virutas de materiales inertes como abrasivos líquidos, arena e incluso líquidos. El proceso descansa en la acción de frotamiento de los componentes y la viruta abrasiva. La limpieza superficial mediante líquidos ocurre debido a la acción de frotamiento entre el componente y las partículas líquidas. El abrasivo retira material del componente. Por lo general antes se utilizaban barriles circulares, pero ahora la tecnología avanzada emplea barriles hexagonales u octagonales.

En las técnicas modernas de limpieza mecánica en tambores giratorios los componentes nunca entran en contacto uno con otro y la posibilidad de daño es mínima. La figura 2-3 muestra el proceso de barrillado.



BARRILADO

Figura 2-3 Barrilado [Fuente:

<http://es.slideshare.net/mariadelrefugiorefugio/procmeconomicosdelimpieza>]

2.1.4 Chorro de granalla

Este proceso es similar al de limpieza por chorro de arena excepto por el material de limpieza. El proceso se basa en empleo de metales abrasivos en lugar de arena. La aplicación del chorro de abrasivos metálicos se lleva a cabo mediante presión, gravedad y succión.

En la figura 2-4 se puede visualizar el proceso de chorro de granalla.



GRANALLADO

Figura 2-4 Chorro de granalla [Fuente:

<http://www.tecsolltda.cl/site/media/k2/galleries/52/granallado-2.jpg>]

El proceso centrífugo se desarrolló hace casi 50 años y es muy empleado en la actualidad; consiste en dirigir el chorro de abrasivos sobre la superficie que se desea limpiar a una velocidad de 80 [m/s] a 100 [m/s] de acuerdo con el requerimiento el trabajo se puede limpiar en un barril, una mesa o en gabinetes especiales. A gran

escala se utilizan transportadores para la aplicación de un chorro regular a los componentes.

La limpieza de las vigas metálicas a través de un proceso de granallado puede considerarse un bombardeo en donde las partículas abrasivas son enviadas a alta velocidad y presión contra las vigas.

Antes de chocar las partículas están dotadas de energía cinética que es proporcional a la masa de la partícula en forma directa y al cuadrado de la velocidad teniendo así la ecuación:

$$E_c = \frac{m * v^2}{2} \quad \text{ecuación (2.1)}$$

Donde,

m = masa de la partícula en [kg]

v = velocidad de la partícula en [m/s]

La masa de una partícula esférica viene dada por la siguiente ecuación:

$$m = \frac{\rho * (4\pi * r^3)}{3} \quad \text{ecuación (2.2)}$$

Donde,

ρ = densidad del material en [kg/m³]

r = Radio de la partícula en [m]

Por lo tanto la energía cinética de la partícula viene dada por la ecuación:

$$E_c = \frac{\rho * (2\pi * r^3 * v^2)}{3} \quad \text{ecuación (2.3)}$$

Según las ecuaciones mostradas se puede observar que una pequeña variación en las cantidades y dimensiones de la partícula puede reflejarse en la energía cinética ya que es directamente proporcional. Si consideramos a la velocidad de la partícula un valor fijo y si una partícula se le reduce su radio a la mitad la energía cinética se reducirá en 8 veces su valor inicial.

Tabla 7. Influencia de las dimensiones de las partículas esféricas sobre su energía cinética relativa y sobre la cantidad de partículas en un kg de granallas de acero

(N° SAE)	Dimensión de la granalla		Cantidades aproximadas de partículas nuevas / kg	Energía de impacto relativa aproximada
	Diámetro (mm)			
	Nominal	Medio		
780	2,00	2,38	18.100	500
660	1,70	2,00	30.600	300
550	1,40	1,68	51.600	175
460	1,18	1,41	87.300	100
390	1,00	1,17	152.900	60
330	0,85	1,00	244.900	37
280	0,71	0,84	413.100	22
230	0,60	0,71	684.100	13
170	0,43	0,55	1.471.700	6
110	0,30	0,39	4.127.700	2
70	0,18	0,30	9.068.600	1

[Fuente: TUPY Ltda.]

El granallado o ShotBlasting (proceso industrial mediante el cual se hace limpieza, preparación y/o texturizado de superficies con diferentes propósitos), funciona bajo el principio de funcionamiento de una maquina chorro de arena pero cambiando la arena por micro-partículas metálicas llamadas granalla.

El material más común para este proceso es la granalla de acero, abrasivo utilizado en numerosas aplicaciones para el tratamiento de superficies por granallado y el aserrado de bloques de granito.

Este insumo puede tener forma de partículas redondas o angulares; su composición química presenta un alto porcentaje de carbono y la gama de dimensiones está comprendida entre 0,1 hasta 2,87 [mm] de diámetro, para el caso de las redondas.

La figura 2-5 muestra la granalla tipo angular y circunferencial.



Figura 2-5 Granalla metálica [Fuente: http://www.blastingexperts.com/Web_final/asistencia3.html]

Para el caso de obtener la granalla con geometría angular, las partículas son sometidas a un triturado calibrado. De esta manera, el industrial cuenta con granalla de dos referencias: esféricas (Shot) y angulares (Grit), su uso depende del requerimiento del proceso. Su producción cumple con normas internacionales especialmente creadas para dar a este producto las características químicas y físicas requeridas de cada tipo y/o referencia pues, de acuerdo a las condiciones de los diferentes materiales a tratar y el propósito pretendido en ellos, así también debe seleccionarse el tipo de granalla.

Por sus características fisicoquímicas, la granalla es el reemplazo ideal de las actuales arenas cuarcíferas y silíceas, ya que erradica al 100 % la polución con alto contenido de sílice creada en el arenado, lo que reduce al mínimo los riesgos de enfermedades a operarios y daño al medio ambiente alrededor de la zona de trabajo. Otras ventajas de la granalla son el alcance en el acabado del proceso y el rendimiento en cuanto a duración del material; mientras la arena sólo resiste un impacto, la granalla permite de 500 a 1800.

El granallado puede aplicarse sobre todo tipo de productos para limpiar y preparar su superficie, siendo los más tratados aquellos de carácter metálico, los cuales deben ser liberados de calamina, óxido y otros elementos contaminantes antes de recibir el acabado final. Esta aplicación se hace en cabinas cerradas que permiten la recolección de la granalla que ha de ser reutilizada prácticamente hasta su desaparición. La durabilidad depende de la dureza del material tratado y las condiciones de las

impurezas removidas, esto es algo que puede detectarse por la reducción de tamaño de las granallas; momento en el cual el operario del equipo debe adicionar nuevo material, para que el proceso siga siendo homogéneo.

Dado que la industria en general tiene requerimientos particulares de acuerdo a sus propósitos, los equipos para granallado permiten regularla presión y el flujo del disparo o chorro de abrasivo, así como el uso de diferentes diámetros de boquillas (orificios por donde es expulsada la granalla) adecuadas para cada tipo de abrasivo, siendo el ajuste de estos parámetros el principio fundamental que permite alcanzar el acabado requerido con la mayor técnica y exactitud posible.

Por lo anterior, el granallado permite desde las limpiezas más superficiales hasta aplicaciones tan exigentes como el ShotPeening, un granallado de parámetros exactos en tiempo, presión, distancia, paso y tamaño de abrasivo, mediante el cual se consigue el alivio de tensiones residuales en áreas específicas de material metálico y se aplica de manera especial a elementos sometidos a trabajos de revolución y torsión en áreas vulnerables a la fracturación.

En líneas generales es utilizado para:

- Limpieza y acabado superficial de piezas de fundición ferrosas
- Tratamiento y acabado superficial de piezas forjadas.
- Limpiezas después de tratamientos térmicos, entre otros.
- Aumentar la adherencia para aplicar cauchos, pinturas, etc.
- Decapado mecánico de alambres, barras, chapas, etc.
- ShotPeening. Proceso muy controlado que elimina tensiones superficiales debidas a deformaciones mecánicas, arranque de viruta, entre otros procesos y aumenta la resistencia a la fatiga, evitando la aparición de grietas (muelles, engranajes, piezas de automoción, aeronáutica, etc.).

2.2 Matriz de decisión

Para la selección del proceso de granallado adecuado se usó la siguiente matriz de decisión. Tabla 8.

Tabla 8. Matriz de decisión

MATRIZ DE DECISIÓN				
	POLUCIÓN	TAMAÑO DE ELEMENTO A PROCESAR	ACABADO SUPERFICIAL-GRADO	COSTO DE ABRASIVO POR HORA
SANDBLASTING	MUY ELEVADO	ELEMENTOS GRANDES	SP 10	\$9,6/h
BARRILADO	MINIMO	ELEMENTOS PEQUEÑOS	SP 5	-
TAMBOREO	MINIMO	ELEMENTOS PEQUEÑOS	SP 5	-
GRANALLADO	MINIMO	ELEMENTOS GRANDES	SP 10 - SP 5	\$1,6/h
NOTA: EL COSTO PROMEDIO DE LOS ABRASIVOS SOLO ES ORIENTATIVO.				
LA OPCIÓN ELEGIDA SERÍA LA DEL SISTEMA DE GRANALLADO PORQUE ES LA QUE TIENE UN MENOR COSTO DE ABRASIVO POR HORA Y CUMPLE CON LAS ESPECIFICACIONES REQUERIDAS.				

[Fuente: Elaboración propia]

2.3 Descripción del sistema óptimo

Teniendo en cuenta el costo que implica la limpieza de vigas metálicas en nuestra empresa, es importante la optimización de los procesos para garantizar que los recursos sean usados de la manera más eficiente.

Para considerar un sistema óptimo de limpieza por granallado se debe tener en cuenta varios factores:

Mezcla Abrasiva Eficiente.- El material abrasivo debe tener una mezcla de granos exacto para la correcta limpieza de las vigas, por ejemplo los granos grandes de material abrasivo tienen el máximo valor de impacto y realizan el trabajo de aflojar las impurezas más densas y adheridos; al contrario los granos más pequeños son necesarios para la correcta limpieza de las impurezas más livianas. Es importante señalar que la mezcla de los granos está en continuo cambio debido a la deterioración causada por la descamación normal de los cuerpos sujetos a limpieza.

Costos de una operación de Limpieza Ineficiente

- Una mezcla conformada en su mayoría de granos gruesos aumenta hasta un 30 % el tiempo del ciclo de limpieza de las vigas
- Una mezcla de abrasivo con granos demasiado fina puede aumentar también hasta un 30% adicional al tiempo estimado a la limpieza de las vigas metálicas.
- El uso de una mezcla contaminada con tan solo el 2% de arena puede aumentar hasta el 50% el desgaste de nuestro equipo y de sus partes.
- Si se pasa por el alto el tamaño del grano en tan solo un 0.005[in] aumentaría el consumo de abrasivo hasta un 25%.

Para tener un sistema de granallado eficiente se recomienda los siguientes pasos:

Diariamente:

- Controlar los componentes de la turbina para evitar un desgaste excesivo
- Revisar el correcto funcionamiento de la tolva para verificar las no existencias de agujeros u obstrucciones.
- Revisar las lecturas de amperímetro y comprobar su correcto funcionamiento.
- Chequear el correcto funcionamiento de los sensores de presión que indica el estado de los filtros.

Semanalmente:

- Inspección de posibles fugas dentro del sistema.
- Revisar las tuberías de ventilación para evitar fugas u obstrucciones.
- Comprobar el área efectiva de granallado de cada turbina.

Un equipo de granallado está compuesto por:

- Cámara de granallado.
- Turbinas centrífugas para el lance de abrasivo.

- Sistema de filtración de polvo e impurezas.
- Sistema de recirculación y limpieza del abrasivo (puede añadir separador magnético).
- Sistema de carga (por ejemplo: skip de carga en granalladoras de tapiz de acero o goma).
- Sistema de descarga (por ejemplo: canal o mesa vibrante Opcionales: Variador de frecuencia turbinas, Refuerzo cámara granallado con placas intercambiables de acero al manganeso, equipos de dimensiones especiales.

2.2.1 Tipos de granalladoras

Para satisfacer la variedad de aplicaciones y requerimientos de la industria al momento de utilizar la técnica del granallado, los fabricantes de granalladoras han puesto en el mercado tres tipos: equipos turbinados, equipos por succión de aire y equipos de tanque presurizado o de aire a presión. Los Equipos Turbinados, como lo indica su nombre, trabajan con turbinas (una o más) las cuales toman la granalla de un alimentador y la lanzan, con fuerza y velocidad, sobre las superficies a tratar. Estos equipos son utilizados para trabajos continuos o programados por ciclos, los cuales son alimentados y descargados manual o automáticamente.

Poseen una cámara de trabajo en la que desemboca la o las turbinas que impactan el material dispuesto en su interior para el proceso.

Los modelos turbinados son utilizados especialmente en procesos de limpieza por su alto rendimiento de trabajo y aplican para todo tipo de piezas, desde pequeñas como tornillos y broches, hasta más grandes como perfiles estructurales, planchas de acero, vagones, etc.

En cuanto a los Equipos por succión de aire, están disponibles en el mercado en la modalidad de cabina desde tamaños muy pequeños, de menos de 0.5 [m³], hasta grandes cabinas llamadas también cuartos de granallado. El chorro de abrasivo es generado por un efecto de succión que se crea al paso de un fluido de aire por una pistola, cuya estructura interior produce un vacío que succiona el abrasivo desde la tolva de almacenamiento y lo dispara en la dirección indicada por el operario. Este equipo aplica para procesos suaves y con abrasivos finos y livianos, ideal para limpiezas, texturizados y grabados superficiales.

Por último, se encuentran los Equipos con Tanque Presurizado o de Aire a presión, estos se encuentran, al igual que los anteriores, en modelos cabinados y son utilizados para trabajo manual y de detalle. Constan de una cámara de trabajo, un tanque presurizado, una pistola o boquilla para disparo de abrasivo, un sistema de reposición y limpieza de abrasivo y un sistema de extracción y retención de polvo. Para su funcionamiento requieren de una excelente fuente de aire seco, en las medidas que exija la referencia adquirida.

A su vez los equipos con tanque presurizado, se dividen en tres tipos:

- De cabina para operación desde afuera con mangas y ventanilla.

- Cabina personalizada o a la medida, para operar desde su interior con equipo de protección personal especial para el operario, puertas para entrada y salida de materiales, y puerta de emergencia o para operario, mas todos los requerimientos especiales acordes a la necesidad de cada industrial.
- También existen otros equipos con tanque presurizado para trabajos especiales como limpieza interior de tuberías, los cuales están dotados de boquillas especiales y útiles móviles que permiten el acceso y el recorrido por espacios tan reducidos como estos.

Las figuras 2-6 y 2-7 muestran ejemplos de cabinas de granallado.



Figura 2-6 Cabina de Granallado Speed Plus Interior [Fuente: <http://www.blasting.com.ar/cabinas-de-granallado/sistema-de-succion/cabinas-de-granallado-succion.php>]



Figura 2-7 Cabina de Granallado [Fuente: <http://tallerescubia.com/images/stories/web/chorreo4.jpg>]

2.2.2 Funcionamiento

En las granalladoras con turbina podemos identificar tres ensambles generales: Cámara de trabajo, Turbinas y Sistema de recolección y reciclaje de abrasivo. La cámara de trabajo es el compartimiento donde se ubican las piezas a tratar, existen compartimientos cilíndricos, tipo carrusel, cuadrados y en general con la forma que el industrial requiera para su proceso.

Debido a que ésta área está expuesta al bombardeo de granalla, normalmente es protegida con escudos de acero especial (acero al manganeso) que tiene alta resistencia a la abrasión y al impacto.

Las granalladoras tienen una turbina compuesta por aspas impulsoras montadas sobre una flecha rotativa. La granalla entra en la caja donde se encuentran girando las aspas impulsoras, las cuchillas están conectadas a un cabezal giratorio, conectado a un sistema de motor eléctrico. Los motores directos rotan el cabezal desde 1800 a 3600 [rpm]. Para las unidades de valeros y de rodillos, las velocidades pueden variar entre 2100 y 3200 [rpm]. Al contacto con las aspas, la granalla es inmediatamente impulsada, lo que crea un chorro de abrasivo que maximiza el impacto y cobertura en sus partes a limpiar. Los accesorios de la turbina son reemplazables, las aspas son fácilmente cambiables, para simplificar el proceso y los tiempos de mantenimiento.

Durante el proceso de granallado, el abrasivo es suministrado a la turbina a través de ductos, la turbina giratoria impulsa la granalla creando un chorro de abrasivo que limpiará las partes que están pasando a través del gabinete de granallado. Las turbinas ubicadas en la parte baja de las granalladoras son alimentadas por la gravedad y las que están en la parte superior y laterales se alimentan por un elevador de cangilones y gusanos recolectores. El bombardeo de partículas abrasivas lo expulsa a una velocidad de entre 65 y 110 [m/s] que al impactar con la pieza tratada, produce la remoción de los contaminantes de la superficie.

Luego, un colector o una malla y un soplador ayuda a retirar el polvo e impurezas de la granalla que, posteriormente, será recolectada en un tambor metálico. Después, la granalla se recicla a través del sistema, en condiciones adecuadas puede reciclarse máximo tres veces, porque un alto porcentaje de quiebre de las aristas del grano disminuye significativamente su rendimiento.

El continuo flujo de abrasivo va eliminando de las piezas de metal, corrosión, impurezas, cáscara de soldadura, entre otras.

Luego de realización del procedimiento, la superficie limpia no debe ser tocada con las manos y en condiciones normales de humedad y temperatura, el intervalo máximo entre la limpieza y la aplicación de pintura no podrá exceder seis horas.

La granalladora de succión de aire, trabaja conectado a una fuente de energía eléctrica y otra de aire comprimido, el cual, al paso por la pistola genera la succión para absorber y disparar el abrasivo almacenado en el interior de la tolva, de esta forma el proceso es de tipo circular y continuo.

El polvo generado en cada proceso es absorbido por el sistema de extracción dispuesto en la parte posterior del equipo y retenido por los sacos colectores

intermedios entre la cámara y el extractor. La cámara de trabajo dispone de dos puertas laterales de cierre rápido, un visor con cristal templado protegido al interior por una lámina de policarbonato y una perfecta iluminación que en conjunto con el sistema extractor de polvo, garantiza la buena visibilidad del operario para el manejo de las diferentes piezas a tratar. La plataforma de trabajo es en lámina perforada y resistente a la acción de los abrasivos. La pistola accionada por la válvula de pedal está fabricada en inyección de aluminio y la boquilla en cerámica o bicarburo de tungsteno.

2.2.3 Selección del Equipo de Granallado Ideal

Según lo expuesto anteriormente, se considera al sistema chorro de granalla como el sistema ideal para el trabajo en planta, esto se debe a las características que tiene el sistema, así mismo el equipo a utilizar será el de succión de aire ya que es versátil en sus movimientos, en donde se puede enfocar en un punto específico, adicional es económico y utiliza de fuente de energía al compresor de aire lo que lo hace más rentable. En la figura 2-8 se puede visualizar un ejemplo de la cabina de granallado seleccionado.



Figura 2-8 Cabina de Granallado [Fuente: <http://www.columbiamaq.cl/images/maquinas/37/cabina-de-granallado.jpg>]

CAPÍTULO 3

3 DISEÑO DE UNA RECÁMARA PARA EL PROCESO DE GRANALLADO DE VIGAS METÁLICAS

En este capítulo se detallarán los respectivos cálculos para el dimensionamiento y selección de los principales elementos o equipos utilizados en cada uno de los sistemas que se requieren para realizar el proceso de granallado dentro de la cámara.

La Figura 3-1 presenta el diseño propuesto del cuarto de granallado, en donde se muestra que en un costado se ubican el elevador de cangilones junto al sistema de limpieza de granalla y en la parte posterior el colector de polvos que permitirá mantener un ambiente ventilado durante el granallado.

3.1. Descripción de la recámara de granallado

Uno de los objetivos principales de este diseño es que la granalla utilizada en la limpieza de metales sea reutilizable y que el proceso de recogida de la misma sea de tipo semiautomático, el cual será descrito a continuación:

- El proceso de limpieza por chorro abrasivo es el sistema tradicional de granallado, en el cual la granalla utilizada es esparcida a una alta presión sobre la superficie del metal que se desee limpiar.
- La recogida de la granalla utilizada que se encuentra en el piso debe ser recogida de forma manual y empujada hacia los espacios huecos que se ubican en la parte baja de la habitación.
- En la parte hueca se ubica la banda transportadora que lleva la granalla utilizada hacia el elevador de cangilones, los cuales serán llenados por los residuos de granalla y posteriormente llevados hasta el limpiador de granalla.
- El elevador cumple la misión de transportar los cangilones hasta el sistema de filtrado de la granalla, el cual como su nombre lo indica filtra la granalla, separándola del polvo y otros residuos que se mezclan con la granalla durante el proceso de limpieza del metal.
- Una vez que se ha filtrado la granalla, esta es depositada dentro de tolvas de almacenamiento y a partir de este punto el proceso se vuelve a repetir.

En la Figura 3-1 se muestra el diseño en 3D del cuarto de granallado.

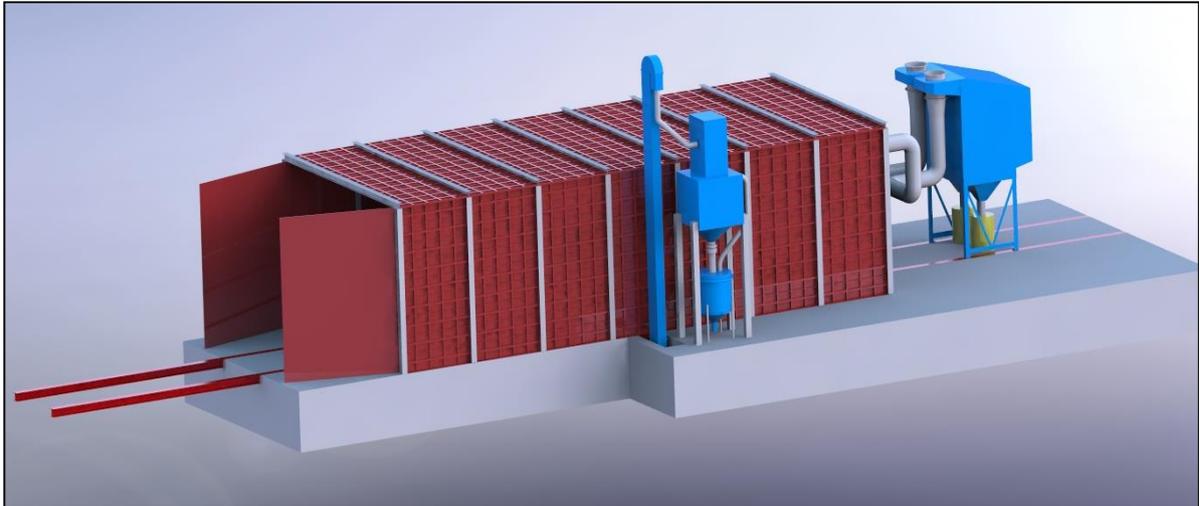


Figura 3-1 Diseño 3D del Cuarto de granallado [Fuente: Elaboración propia]

3.2. Dimensionamiento de la recámara

El dimensionamiento general de la recámara de granallado es el primer paso en la etapa de diseño para todo el sistema, las dimensiones del mismo deben estar orientadas de acuerdo a las dimensiones de las piezas que vayan a ser limpiadas por medio de chorro abrasivo en el interior del cuarto. Las piezas que se han considerado para la generación de las dimensiones corresponden a vigas I de 3 [m] de alto, 1.2 [m] de ancho y 12 [m] de longitud, tuberías de 3 [m] de diámetro, estructuras varias, cerchas, etc.

Primero se analizará la longitud del cuarto; la estandarización de elementos estructurales mantiene longitudes de piezas de 6 o 12 [m] generalmente, con lo cual añadiendo 1,6[m] de espacio para que el operario que maneja el pistón de la máquina tenga libertad de movimiento durante la ejecución de los trabajos, por lo que la longitud adecuada para el cuarto sea de **15,230 [m]**.

En cuanto al ancho y alto de la habitación estas medidas pueden ser fijadas por el espacio que ocuparía una tubería de 3 [m] de diámetro más el espacio adicional para el movimiento del personal, con lo cual estas medidas se limitan a **5,350 [m]** de alto y **6,850 [m]** de ancho

3.3. Estructuración de la recámara

Los materiales que se utilicen para el perímetro del cuarto de granallado deben ser lo suficientemente resistente para evitar que la granalla traspase las paredes del mismo y llegue al exterior, usualmente estos cuartos son construidos como cuartos metálicos o adaptaciones de contenedores metálicos.

El interior de este cuarto metálico está revestido de caucho de 3 [mm] a 5 [mm] para amortiguar el impacto de la granalla contra las paredes, de esta manera se protege la estructura del cuarto.

El costo de un cuarto de granalla puede resultar muy elevado por el costo del flete y los altos impuestos aduaneros que tendría que pagar esta estructura por su considerable peso, a esto se le debe añadir el costo de desaduanización, transporte y puesta en sitio mediante el uso de grúas; para abaratar costos una opción es la construcción local en sitio con materiales fáciles de soldar tal como lo son las placas de encofrado que se utilizan para la fundición de estructuras de hormigón.

Para el presente diseño se hará uso de vigas IPE-140 como soportes principales de la estructura, que en el equivalente de una construcción de tipo civil representarían los pilares y riostras de un edificio; por otro lado las placas de encofrado se usarán como muros y techo de la estructura.

Un dato importante para la estructuración del cuarto es que los encofrados q se utilizan para las paredes, son productos q están dados de baja en la empresa, debido a que son sobrantes de proyectos pasados y al no poderlos utilizar en nuevos proyectos por sus dimensiones y diseño se encuentran en este estado.

Esto es beneficioso para los costos del proyecto.

3.4. Requerimientos y selección de los elementos del sistema de granallado

A continuación se describirá a selección de los elementos de granallado de acuerdo a los requerimientos adecuados para realizar esta actividad.

3.4.1. Selección de la boquilla de granallado

En el mercado existen diversos tamaños de boquillas, los cuales difieren en el diámetro del orificio de salida de la granalla, además la presión de trabajo de la boquilla indicará la cantidad de aire requerido y el consumo de granalla durante una jornada de trabajo.

En la Tabla9 se indica el requerimiento de aire en [c.f.m.] que indica pies cúbicos por minuto por sus siglas en ingles.

Tabla 9. Consumo aproximado de aire según el diámetro y presión de la boquilla

Diámetro de la boquilla	PRESIÓN DE BOQUILLA					
	60 [psi]	70 [psi]	80 [psi]	90 [psi]	100 [psi]	120 [psi]
1/8"	14	16	18	20	22	26
3/16"	32	36	41	45	49	58
1/4"	57	65	72	80	90	105
5/16"	90	101	113	125	140	160
3/8"	126	145	163	182	200	235
7/16"	170	193	215	240	270	315
1/2"	230	260	290	320	350	410
5/8"	360	406	454	500	550	640
3/4"	518	585	652	720	790	925

[Fuente: www.dawson-macdonald.com]

Por otro lado el consumo de granalla en [lbs/h] según el diámetro y la presión de la boquilla se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Consumo aproximado de granalla según el diámetro y la presión de la boquilla

Diámetro de la boquilla	PRESIÓN DE BOQUILLA					
	60 [psi]	70 [psi]	80 [psi]	90 [psi]	100 [psi]	120 [psi]
1/8"	90	105	115	130	140	165
3/16"	205	230	260	290	320	375
1/4"	365	420	460	500	560	660
5/16"	575	650	725	825	900	1050
3/8"	840	945	1050	1155	1260	1475
7/16"	1150	1300	1450	1600	1750	2050
1/2"	1460	1660	1850	2000	2250	2650
5/8"	2290	2600	2900	3125	3520	4100
3/4"	3300	3750	4180	4500	5060	5950

Fuente: www.dawson-macdonald.com]

La selección del diámetro adecuado depende de la rapidez con la que se desee limpiar una pieza y del tamaño de la misma, sin embargo el manejo de una boquilla muy grande con altas presiones puede resultar incómodo para el operario, por ello en este diseño se ha seleccionado un tamaño intermedio para el diámetro de la boquilla y el posterior dimensionamiento y selección de los demás equipos involucrados. Una boquilla de tamaño N° 6 o de diámetro de 3/8 [in] puede ser considerado como una opción bastante adecuada para las piezas que se van a tratar, y de este tamaño de boquilla se puede resumir lo siguiente:

- Presión de la boquilla: 100 [psi]
- Aire requerido: 200 [c.f.m.]
- Consumo de granalla: 1260 [lbs/h]

En cuanto a la potencia requerida los fabricantes de este tipo de equipos recomiendan 1 [hp] por cada 4 [c.f.m] de aire consumido, de esta manera la potencia mínima que el sistema debe tener, sea al menos 50 [hp].

3.4.2. Capacidad de la tolva

El dimensionamiento de la tolva depende de varios factores, uno de ellos es el consumo de granalla según el diámetro de la boquilla, el cual ya ha sido seleccionado; los otros factores dependen de las condiciones de trabajo, es decir el número de operarios y la cantidad de horas por día de granallado, a esto se le debe considerar la autonomía de granalla o el número de días que se quiera tener reserva del material.

Dentro de las condiciones de operación que se han considerado en el diseño, se tiene una jornada laboral de 8 [h], en la que el granallado sea realizado por dos operarios y que cada uno de ellos utilice una boquilla con diámetro de 3/8 [in] a 100 [psi] de presión; según estas condiciones de trabajo el máximo consumo de granalla por día será de 9.15 [ton], y además se estima que la autonomía de granalla sea la suficiente para granallar 5 días continuos.

La granalla de acero posee una densidad volumétrica de 7400 [kg/m³], lo que indicaría que el espacio ocupado por una cantidad de 45.75 [ton] de granalla es de 6.18 [m³].

3.5. Dimensionamiento y selección de los elementos del sistema de recolección de granalla

Como se había mencionado anteriormente, este sistema de granallado realiza un proceso de recirculación de la granalla, que incluye el uso de varios equipos fijos y móviles que permiten que este proceso sea realizado; este proceso inicia con la granalla utilizada, la cual cae por gravedad a los ductos centrales que transportan la granalla sobre la banda de transportación, luego esta es recogida por los cangilones y a su vez son elevados hasta el limpiador de granalla, que es donde inicia el proceso de filtrado y limpieza de la granalla.

Uno de los elementos más importantes en el sistema de recolección de granalla es el elevador de cangilones, el cual comprende varias piezas que permiten transportar la granalla utilizada hacia los otros sistemas que permitirán la recirculación en el ciclo de granallado; en la Figura 3-2 se muestra la configuración de un elevador de cangilones vertical con descarga centrifuga, tal como el que se ha considerado para el diseño.

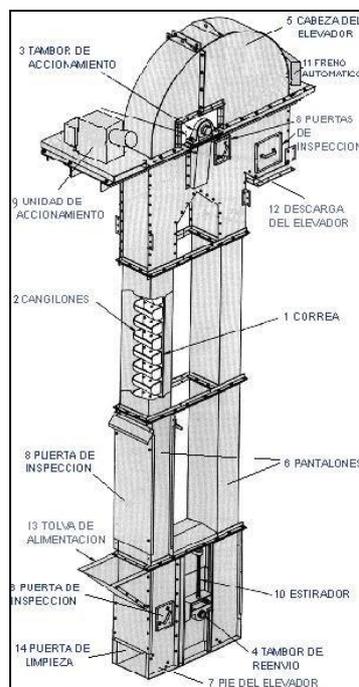


Figura 3-2 Configuración típica de un elevador de cangilones con descarga centrifuga (Mecánica, s.f.)

A continuación se describirá el dimensionamiento y la selección de los equipos utilizados en esta parte del proceso.

3.5.1. Cangilones

Estos elementos son montados sobre un sistema de elevación que le permite transportar y depositar la granalla utilizada hacia el sistema de limpieza y filtrado, para luego pasar hacia el conducto que la depositará en la tolva de almacenamiento y permitir que se repita el ciclo de recirculación de granalla.

El montaje de los cangilones se realiza por medio de pernos que lo sujetan a la banda transportadora; si el montaje de los cangilones es realizado sin separación entre ellos, entonces el sistema es denominado de cangilones continuos, caso contrario se denomina de cangilones discontinuos.

La selección del tamaño adecuado de los cangilones está directamente relacionado a la capacidad de recolección de granalla del sistema, y a la velocidad a la que se mueve la banda transportadora, esta velocidad en promedio se encuentra entre 1.15 – 1.5 [m/s], considerando para el diseño la velocidad media entre estos límites, es decir 1.25 [m/s]. La capacidad de transporte que tiene un elevador de cangilones se puede expresar mediante:

$$Q = \frac{3.6 * P * V * \varphi}{d} \quad \text{ecuación (3.1)}$$

Dónde:

Q: Capacidad del elevador de cangilones, en [Ton/h].

P: Peso del volumen de granalla en un cangilón, en [kg].

V: Velocidad de los cangilones, en [m/s].

d: Distancia entre cangilones, en [m].

φ : Coeficiente de llenado del cangilón.

El elevador de cangilones debe tener la capacidad de transportar la máxima cantidad de granalla que se ha estimado para el consumo diario, en un tiempo de una hora o menos, es decir que la capacidad del elevador (Q) debe ser de al menos 9.15 [ton/h]; para propósitos de cálculos se va a considerar que la capacidad de recolección sea superior en aproximadamente un 30% al valor inicialmente mencionado, es decir que el valor de (Q) va ser igual a 12 [ton/h]. Por otro lado la separación entre cangilones va a ser de 0.20 [m] y el coeficiente de llenado de 0.75; por consiguiente el peso del volumen de un cangilón según la ecuación (3.1) estaría dado por:

$$P = \frac{Q * d}{3.6 * V * \varphi}$$

$$P = \frac{12 \left[\frac{\text{ton}}{\text{h}} \right] * 0.2 \text{ [m]}}{3.6 * 1.25 \text{ [m/s]} * 0.75} = 0.71 \text{ [kg]} \quad \text{ecuación (3.2)}$$

Esto indica que cada cangilón debe tener la capacidad de almacenar un volumen de 5.85 [in³] de granalla de acero. Para seleccionar el tipo de cangilón que se va a utilizar

en el sistema, se ha usado la guía de productos Tapco (Tapco, 2006), la cual incluye una amplia gama de modelos de cangilones variando materiales de fabricación, formas y dimensiones; entre los diferentes modelos que presenta la guía, uno que presenta una mayor funcionalidad debido a su forma es el modelo de perfil bajo (Ver Figura 3-3) ya que su forma permite reducir el espaciamiento entre cangilones y aumentar la capacidad de carga.



Figura 3-3 Cangilón de perfil bajo (Tapco, 2006)

En el Anexo B se incluyen las características de los cangilones Tapco de perfil bajo que se asemejan al cangilón requerido, el cual tiene las siguientes características:

- Tamaño nominal: 80 x 60 [mm]
- Profundidad: 50 [mm]
- Espaciado mínimo en correa: 50 [mm]
- Capacidad: 6.2 [in³]
- Peso del cangilón: 0.12 [lbs]
- Material: Nylon.

3.5.2. Diámetro del tambor de accionamiento

El diámetro del tambor de descarga se determina de la siguiente manera:

Se realiza una sumatoria de fuerzas aplicada en la parte superior del elevador de cangilones, relacionando la fuerza centrífuga debida al movimiento rotacional que presentan los cangilones y el peso de carga que transportan individualmente (Ver Figura 3-4).

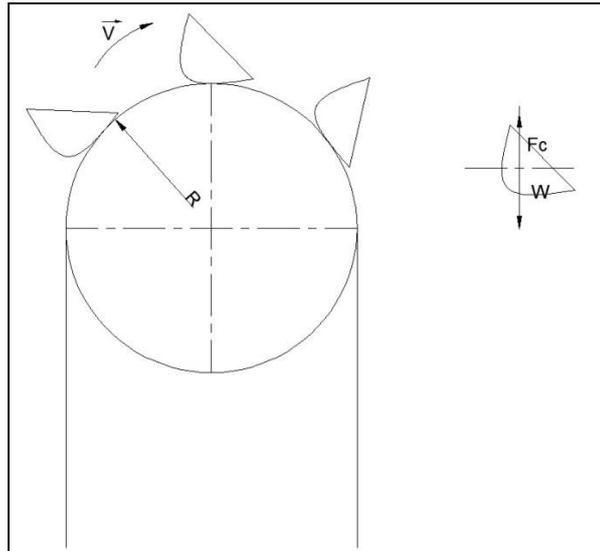


Figura 3-4 Fuerzas que actúan sobre los cangilones para determinar el diámetro del tambor [Elaboración Propia]

De acuerdo a lo mostrado anteriormente, al realizar la sumatoria de fuerzas en sentido vertical y considerando $v=0$, queda la siguiente expresión:

$$F_c = W$$

$$m * \frac{V^2}{R} = m * g$$

$$R = \frac{V^2}{g}$$

ecuación (3.3)

Para la velocidad de diseño de 1.25 [m/s], el diámetro del tambor debe ser de 318.8 [mm]; sin embargo comercialmente es más factible conseguir un tambor de 320 [mm].

3.5.3. Potencia requerida

La potencia requerida para elevar los cangilones y la carga de granalla que transportan es calculada en base a fórmulas obtenidas del manual de cálculo para bandas transportadoras de Pirelli (Pirelli); en donde la potencia requerida para elevar la granalla viene dado por:

$$N_1 = \frac{Q * H}{270}$$

ecuación (3.4)

Para elevar la granalla una altura $H = 7.7$ [m], con un capacidad $Q = 12$ [ton/h] se requiere una potencia **$N_1 = 0.34$ [hp].**

La potencia calculada no corresponde a la potencia total a instalarse, a esta se le debe añadir la potencia requerida para vencer el esfuerzo de carga, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$N_2 = \frac{Q * H_1}{270}$$

ecuación (3.5)

El valor de H_1 corresponde al valor de corrección de acuerdo con la altura, y este depende a su vez del tipo de material que se está elevando, para determinarlo se toman los valores de la Tabla 11.

Tabla 11. Valores de h_1 para determinar la potencia para vencer el esfuerzo de carga (Pirelli)

Tipo de elevador	Características del material	Valores de H_1 [m]
Cangilones discontinuos	Pesado y en trozos gruesos	15
	Medianamente pesados o ligeros y en polvo	10
Cangilones continuos	Pesado y en trozos gruesos	10
	Mediano, ligero y en polvo	5

El diseño propone el uso de cangilones discontinuos, por lo tanto el valor de la altura h_1 será tomado como 15, considerando que la granalla es pesada y que viene en trozos gruesos; de esta manera la potencia requerida para vencer el esfuerzo de carga será **$N_2 = 0.66$ [hp].**

Al combinar las dos potencias calculadas se obtiene la potencia total que debe tener el sistema para poder elevar los cangilones llenos y vencer el esfuerzo que produce esta carga, lo que indicaría que la potencia total debe ser al menos **$N = 1.00$ [hp].**

3.5.4. Diámetro del tambor de reenvío.

Este tambor se encuentra ubicado en la parte inferior del elevador de cangilones y su diámetro generalmente es el mismo que el usado en el tambor de accionamiento, que en este caso viene dado por 320 [mm]

3.5.5. Transportador de cangilones

De acuerdo a la información del manual de cálculo de cintas transportadoras de Pirelli (Pirelli), se debe determinar si la banda que transporta los cangilones es autotensante o no, lo cual es determinado de acuerdo a la siguiente relación:

Si $T_m > T_s$ (Autotensante)

Dónde:

T_s : Tensión generada por el peso de un tramo o ramal de la banda descargada más el peso de los cangilones aplicados [kg].

T_m : Tensión provocada por el peso del material contenido en los cangilones del mismo ramal más el esfuerzo de carga.

La tensión T_s puede ser expresada por:

$$T_s = \left(P_n + \frac{P_t}{h} \right) H \quad \text{ecuación (3.6)}$$

Dónde:

P_n : Peso de 1 metro de banda [kg/m]; peso de telas a considerar 1.7 [kg/m²]; peso específico de goma 1.5 [kg/dm³].

- P_t**: Peso de un cangilón (carga y peso del cangilón) [kg].
- h**: Paso entre cangilones [m]
- H**: Altura de elevación [m].

En la Tabla 2 se muestran los datos utilizados para determinar el valor de la tensión T_s.

Tabla 12. Resumen de cálculo para determinar la tensión T_s

Parámetro	Valor	Unidad
P _n	1.75	Kg/m
P _t	0.76	Kg
h	0.2	m
H	7.7	m
T_s	42.74	kg

[Fuente: Elaboración propia]

La tensión T_m puede ser expresada por:

$$T_m = \frac{P_m}{h} (H + H_1) \quad \text{ecuación (3.7)}$$

Dónde:

P_m: Peso del material por cangilón [kg]

En la Tabla 3 se muestran los datos utilizados para determinar el valor de la tensión T_s.

Tabla 13. Resumen de cálculo para determinar la tensión T_m

Parámetro	Valor	Unidad
P _m	0.71	Kg
h	0.2	m
H	7.7	m
H ₁	15	m
T_m	80.59	kg

[Fuente: Elaboración propia]

De esta manera al ser una banda autotensante, el valor de la tensión máxima será igual a la suma de las tensiones calculadas.

$$T_{max} = T_s + T_m \quad \text{ecuación (3.8)}$$

$$T_{max} = 123.33 \text{ [kg]}$$

La máxima tensión que soporta la banda transportadora de cangilones permitirá determinar el número de telas que debe tener la misma, siguiendo la siguiente formulación:

$$n = \frac{10 * T_{max}}{I * z} \quad \text{ecuación (3.9)}$$

Dónde:

n: Es el número de telas de la banda.

I: Ancho de la banda [mm]

z: Carga de trabajo de la tela [kg/cm/tela]

El ancho de la banda es dado de acuerdo a las dimensiones que tenga el cangilón, es recomendable que se maneje un margen mínimo entre cada costado del cangilón de 25 [mm], es decir que el ancho considerado para esta banda es de 130 [mm]. Por otro lado los valores de z dependen del material con el cual está elaborada la banda, en la Tabla 4 se muestran los valores de “z” según los tres principales materiales usados para la fabricación de bandas transportadoras.

Tabla 14. Valores de “z” para determinar el número de telas de la banda (Pirelli)

Ítem	Tipo de tela	Carga de trabajo [kg/cm/tela]
1	M algodón 32 onzas y CN6	5.4
2	P algodón 35 onzas y CN7	5.8
3	Ny 12.5	10

Seleccionando una banda de algodón- nylon de 32 onzas y CN6, el número de telas requeridas es igual a 2.

3.6. Selección de los elementos del sistema de limpieza y filtrado

En esta sección se incluyen los equipos que son utilizados para la limpieza de la granalla que ya se ha utilizado en el proceso de limpieza de piezas metálicas, incluyendo además el equipo que permite mantener un ambiente libre de polvos durante el granallado.

3.6.1. Limpiador de granalla

Este equipo cumple la tarea de limpiar de granalla ya utilizada, removiendo polvos y otros materiales que se pueden considerar como contaminantes para la granalla; pero se debe tomar en cuenta que este tipo de equipos no son capaces de remover grasas o aceites, por lo que se debe evitar que la granalla entre en contacto con este tipo de materiales.

La selección de este equipo debe hacerse en base a la cantidad de granalla que se procesa y el tiempo que tarda en procesarla, tomando en cuenta que por día se ha estimado un consumo de 9.15 [ton], elegir un limpiador con una capacidad de 10 [ton/h], tal como el mostrado en la Figura 3-5, el cual permitiría limpiar la granalla usada en el día en tiempo inferior a una hora.



Figura 3-5 Limpiador de granalla [Fuente: www.cym materiales.com.ar]

3.6.2. Recolector de polvos

El recolector de polvos mostrado en la Figura 3-6 es únicamente referencial, ya que el modelo seleccionado posee dos acumuladores de residuos en la parte inferior, debido a que la cabina fue diseñada con tomas de aire para dos ductos.

El recolector de polvos seleccionado contiene filtros cilíndricos que permiten el paso de aire y a la retención de partículas de polvo que son extraídas durante el granallado; estas partículas son almacenadas en las tolvas ubicadas en la parte inferior del recolector de polvos y posteriormente desechadas en forma manual.



Figura 3-6 Recolector de polvos [Fuente: www.cymmateriales.com.ar]

CAPITULO 4

4 FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE LA RECÁMARA

Este capítulo muestra el cronograma de actividades que conlleva el diseño y construcción de la recámara de granalla y el respectivo costo que conlleva la puesta en marcha de este cuarto; permitiendo tener un mejor enfoque en la toma de decisiones entre la adquisición de un cuarto construido o realizar la construcción localmente.

4.1. Cronograma de construcción del diseño

El cronograma de construcción del diseño se enfoca al máximo tiempo que puede llegar a tomarle a una empresa mediana el poner en funcionamiento un cuarto de granallado; en la Tabla 15 se muestra el cronograma de las semanas que requiere tener terminado el cuarto.

Tabla 15. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANAS																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Elaboración del diseño																		
Planificación																		
Obra civil																		
Inst. de banda transportadora																		
Montaje de vigas y columnas																		
Montaje de encofrados																		
Inst. transportador cangilones																		
Ubicación de cangilones																		
Montaje de la cubierta																		
Inst. recolector de polvos																		
Inst. Sist. recirculación granalla																		
Inst. Sist. eléctrico																		
Ubicación de tolvas																		
Inst. del panel de control																		
Inst. de puertas abatibles																		

[Fuente: Elaboración propia]

4.2. Costos

El costo de implementar el diseño de un cuarto de granallado puede ser dividido en varias partes, ya que existen materiales de adquisición local, equipos de importación en donde se involucra impuestos

4.2.1. Costos por adquisición de materiales

En esta sección se incluyen los costos de los materiales que se utilizarán para la construcción del cuarto de granallado, estos materiales son de adquisición local y su costo unitario es referencial en base a cotizaciones a empresas locales dedicadas a la comercialización de planchas y elementos estructurales en acero. La cantidad requerida de los elementos que se indican en la Tabla 6 son determinadas en base al modelo tridimensional del cuarto de granallado mostrado en el Apéndice A.

Tabla 16. Costo de materiales para la construcción del cuarto de granallado

Descripción	Material	Long. (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	kg/mt	Cant.	Peso(Kg)	Unidad	Precio unitario	Precio Total
PL. 3X1220X6000	ASTM A-36	6000	1220	3	-	90	15.514,74	\$/KG	0,69	10755,00
HEB-200	ASTM A-36	6000	-	-	61,3	12	4.413,60	\$/KG	1,32	5847,60
IPE-140	ASTM A-36	6000	-	-	12,9	26	2.012,40	\$/KG	1,45	2912,00
PLT. 100X6X6000	ASTM A-36	6000	-	-	4,71	26	734,76	\$/KG	1,54	1131,00
L 50X50X3	ASTM A-36	6000	-	-	2,24	2	26,88	\$/KG	1,02	27,36
PRECIO TOTAL										\$ 9.917,96
NOTA: EL COSTO DE PL 3X1220X6000 NO SE TOMA EN CUANTA DEBIDO A QUE ESTE PRODUCTO(ENCOFRADO) YA SE ENCONTRABA EN STOCK Y DADO DE BAJA										

[Fuente: Elaboración propia]

4.2.2. Costo por adquisición de equipos

Varios de los equipos que se utilizan en el cuarto de granallado no se encuentran disponibles para la compra en el territorio ecuatoriano, lo cual obliga a realizar la importación de estos equipos; en la Tabla 7 se ubican los equipos que se adquieren de esta manera, indicando el precio Exworks, es decir el precio que tienen en la fábrica del país de origen y adicional a estos precios se considerará un adicional del 65% del subtotal como concepto de transporte y aranceles. Los valores mostrados están basados en cotizaciones realizadas a la empresa Cym Materiales S.A.

Tabla 17. Costo de equipos importados

Equipo	Cant.	Unidad	Precio unitario	Precio total
SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GRANALLA				
Transportador de banda y accesorios.	1	Global		
Elevador de cangilones	1			
Limpiador y tamizador de granalla	1			
Silo de almacenaje	1			
Tablero de control de comando general	1			
Equipo con doble salida para dos operarios simultáneos e independientes.	1			
Mangueras, acoples y boquillas N° 6.	1			
Equipo de seguridad para dos operarios	3			
Colector de polvos modelo Y943	1			
Tablero eléctrico de comando general	1			
Ductos de aspiración	1			
INTERNACIÓN AL PAIS				
Subtotal				\$ 58.500,00
Transporte (10 %)				\$ 5.850,00
Seguro (10 %)				\$ 5.850,00
Aranceles (45%)				\$ 26.325,00
PRECIO TOTAL				\$ 96.525,00

[Fuente: Elaboración propia]

En la Tabla 8 se muestra el costo de los equipos que pueden ser conseguidos de forma local.

Tabla 18. Costo de equipos de adquisición local

Equipos	Cant.	Unidad	Precio unitario	Precio total
Tablero de control electrico, TD/CE	1	U	1512,00	\$ 1.512,00
Luminaria metal halide + vidrio de seguridad, 250W-220V	8	U	509,60	\$ 4.076,80
Laminas de caucho color negro	300	m^2	28,37	\$ 8.511,00
PRECIO TOTAL				\$ 14.099,80

[Fuente: Elaboración propia]

4.2.3. Costo de mano de obra

La mano de obra que se considera en los costos corresponde principalmente a la construcción del cuarto de granallado y a la instalación de los diferentes equipos y sistemas, incluyendo la puesta en marcha de los mismos; estos costos ya incluyen el valor del impuesto al valor agregado (I.V.A.) y son mostrados en la Tabla 9.

Tabla 19. Costos por mano de obra para instalaciones

Item	Descripción	Precio total
1	Montaje del cuarto de granallado.	5280
2	Instalación del sistema de recuperación de granalla.	2450
3	Sistema de limpieza de granalla.	650
4	Instalación del colector de polvos.	4850
5	Recubrimiento interior de paredes y puertas.	1340
6	Instalación del sistema de iluminación	1970
Subtotal		\$ 16.540,00
Iva (12 %)		\$ 1.984,80
Imprevistos (10 %)		\$ 1.654,00
PRECIO TOTAL		\$ 20.178,80

[Fuente: Elaboración propia]

4.2.4. Costo total

El costo total de la construcción y puesta en marcha del cuarto de granallado equivale a la sumatoria de los costos mostrados previamente, tal como se muestra en la Tabla 20.

Tabla 20. Costo total del proyecto

Item	Descripción	Precio total
1	Costo de materiales	\$ 9.917,96
2	Costo de equipos importados	\$ 96.525,00
3	Costo de equipos de adquisición local	\$ 14.099,80
4	Costo de mano de obra	\$ 20.178,80
Subtotal		\$ 140.721,56
Imprevistos (5 %)		\$ 7.036,08
TOTAL		\$ 147.757,64

[Fuente: Elaboración propia]

CAPITULO 5

5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente documento se ha desarrollado el diseño de un cuarto de granallado para vigas cuya altura no sea superior a 3 [m], dimensionando y seleccionando los elementos que se integran a la cabina de granallado; además se determinó el costo total que tendría el proyecto y el tiempo que se requeriría para desarrollarlo en su totalidad.

Al realizar una comparativa entre los métodos de limpieza de metales por chorro abrasivo con uso de arena y granalla, se ha podido identificar que el uso de la granalla trae consigo beneficios no solo económicos, sino también de tipo ambiental ya que este material puede ser reciclado y reutilizado, algo que no sucede con la arena, y a su vez el consumo por cada metro cuadrado es 100 veces menor que el de la arena; el costo por metro cuadrado de superficie tratada es aproximadamente 10 veces menor que el que produce el limpiado por arena.

El uso de un cuarto de granallado, presenta beneficios en cuanto a producción y reducción de costes para los procesos de limpieza por chorro abrasivo, ya que al ser un proceso en un lugar cerrado en el que no se afecta a posibles empresas contiguas, esto se puede realizar en el día, lo cual permite observar el nivel de acabado de las piezas y reducir el alto costo de la mano de obra en horario nocturno.

La construcción de un cuarto de granallado con materiales de adquisición local puede representar un ahorro significativo en el costo de adquisición de un cuarto de granallado en el extranjero, debido a que estos al ser de gran volumen y peso, el costo por transporte y los aranceles que se aplican a este tipo de equipos puede duplicar el valor FOB, y el tiempo de construcción local puede llegar a ser menor o igual al tiempo de importación, demostrando que la importación no es lo más factible.

El dimensionamiento y selección de las partes que conforman el sistema que se pretende implementar en este diseño, se ha realizado en base a formulaciones específicas para determinar las características de cada uno de los equipos o partes de ciertos sistemas, permitiendo tener un sistema adecuado para cumplir con los objetivos propuestos.

5.1. Conclusiones

1. Se logró diseñar un cuarto de granallado, que permita limpiar por chorro abrasivo vigas de hasta 3 [m] de alto, 1.2 [m] de ancho y 12 [m] de longitud.
2. Se utilizaron productos y materiales metálicos que se encontraban en stock para la construcción de la cabina de granallado alcanzando así el ahorro en los costos del proyecto. Este ahorro es del 35,9% (ver Apéndice D).
3. Se logró dimensionar y seleccionar los equipos que forman parte del proceso de granallado.

4. Se realizó un cronograma de actividades para el diseño y construcción del cuarto de granallado.
5. El porcentaje de contaminación de la granalla metálica es mínimo comparado con el proceso de sandblasting, por lo que la implementación de un cuarto de granallado en la producción de vigas metálicas es un beneficio de tipo ambiental.

5.2. Recomendaciones

1. En el diseño presentado no se ha considerado un sistema interno de izaje que permita cambiar la orientación de las piezas para granallar, para lo cual sería conveniente integrar un sistema de grúas móviles; sin embargo este cambio que traería consigo varias facilidades para los operadores, significa un gran cambio en la estructuración de las columnas laterales y superiores.
2. La mayoría de los equipos que se han seleccionado para el sistema de granallado, no son de fabricación local, por lo que es importante considerar el tiempo de demora que conlleva la importación, además de los costos y tramites asociados a este proceso.
3. El cronograma de actividades muestra las principales actividades de acuerdo al orden que se considera adecuado para la elaboración del diseño y la construcción del cuarto de granallado; sin embargo estos tiempos pueden variar según la disposición de personal y equipos para realizar las respectivas instalaciones.
4. Es importante tomar en cuenta las medidas de seguridad necesarias, a pesar de que estos puntos no son tratados en el diseño del cuarto de granallado, el uso del equipo de protección personal (EPP) por parte de los operarios que ingresen a la cabina debe ser obligatorio, además de mantener una señalética que permita identificar y evitar otros tipos de peligro.

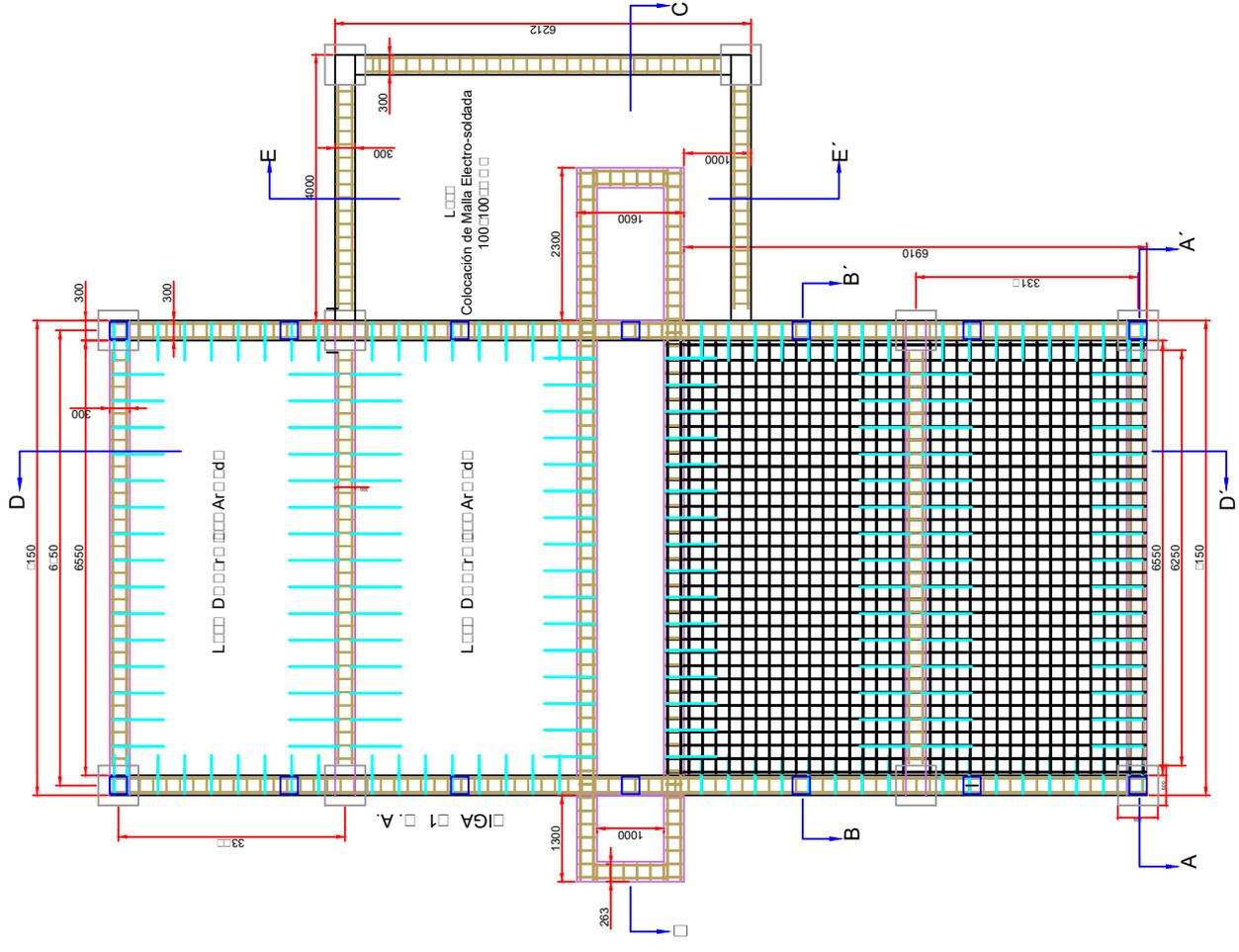
BIBLIOGRAFÍA

- BLASTING. (s.f.). *Tratamiento de aire comprimido*. Recuperado el 11 de 06 de 2015, de Blasting S.A. Información Técnica:
http://www.blasting.com.ar/granalladoras/informacion-tecnica/informes/Tratamiento_del_aire_comprimido.pdf
- Del Pozo Barrezueta, H. E. (2010). Ordenanzas Municipales. *Registro Oficial Organo del Gobierno del Ecuador*, 4-5.
- KAESER. (2003). *Manual de aire comprimido*. Bogota: Kaeser Compresores de Colombia.
- Mecánica, D. d. (s.f.). (Univerisdad de Salamanca) Obtenido de
<http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/PAGINA%20CANGILONES.HTM>
- Pirelli. (s.f.). *Manual de cálculo de cintas transportadoras*. Buenos Aires.
- Tapco. (2006). *Guía de productos Tapco*. Missouri, USA.

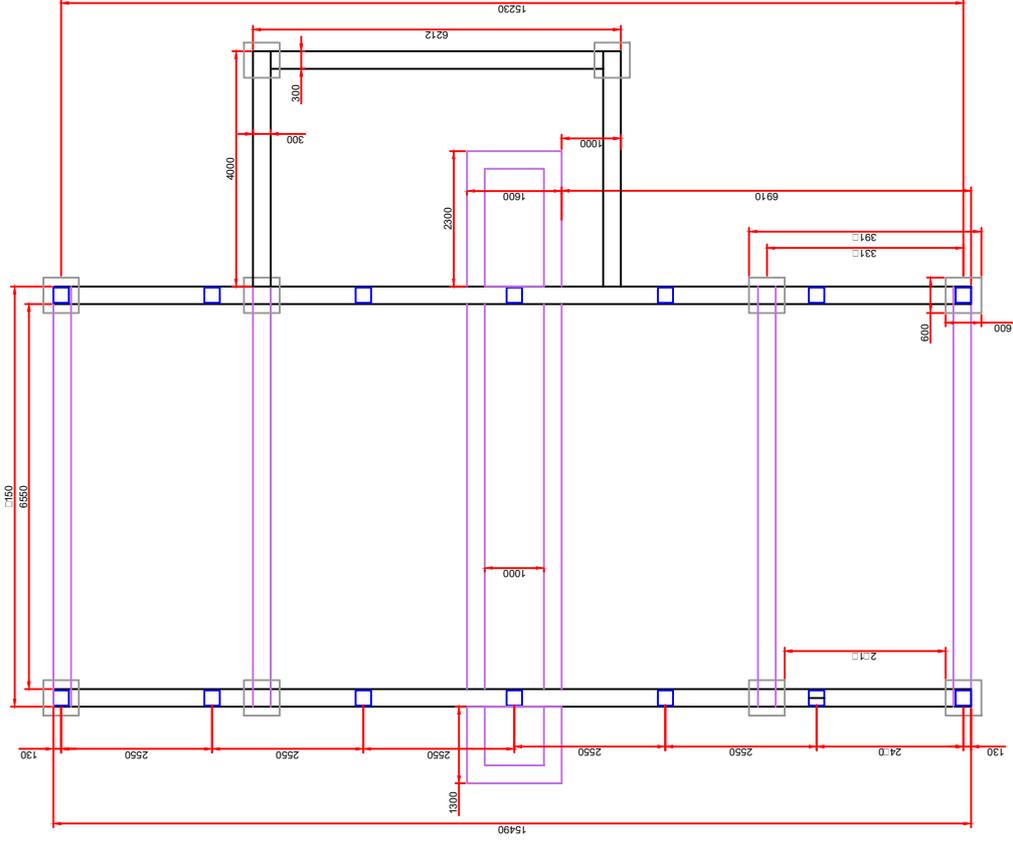
APÉNDICES

APÉNDICE A: Planos

LISTA DE PLANTAS



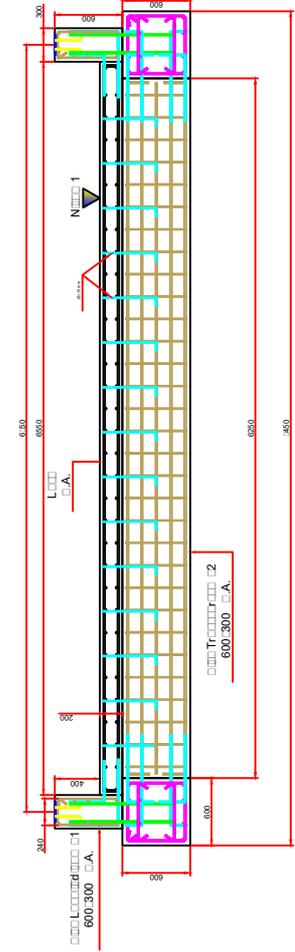
**DIMENSIONAMIENTO
POSICIÓN DE PLACAS**



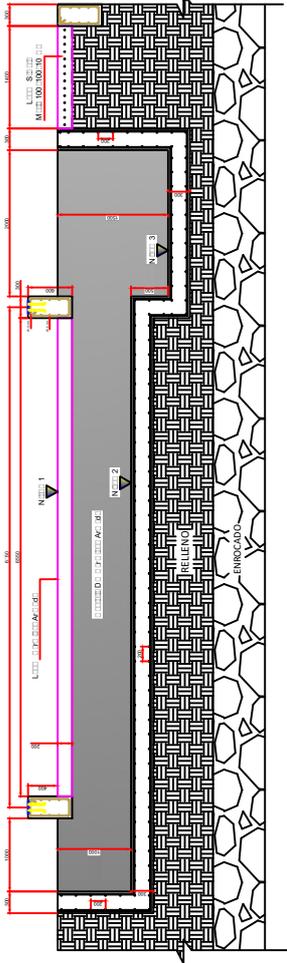
ESPOL-FIMCP

NOMBRE	ALEX FERNANDEZ	FECHA	AGOSTO
DIBUJADO POR:	ALEX FERNANDEZ	REVISADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO			No. 1

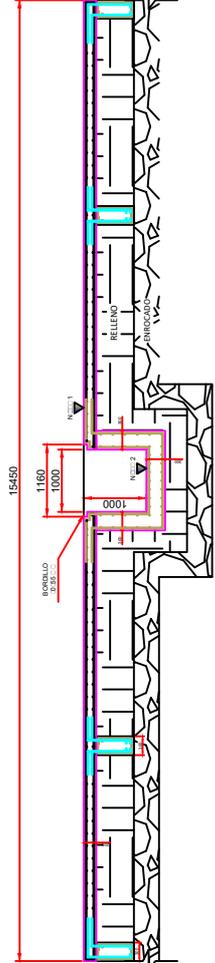
CORTE A-A'



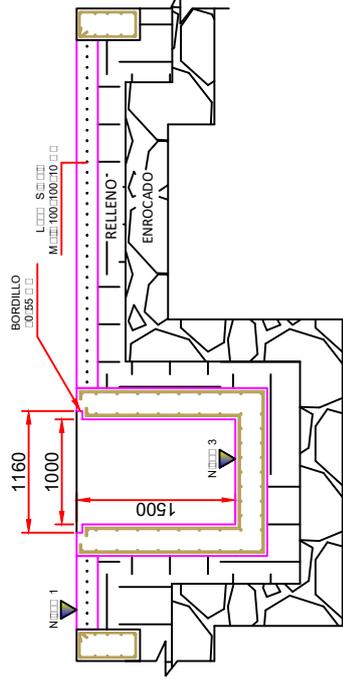
CORTE C-C'



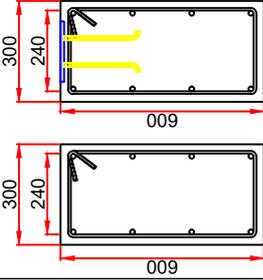
CORTE D-D'



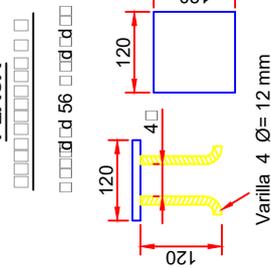
CORTE E-E'



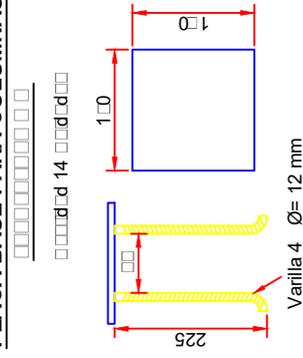
VI A V Ar do



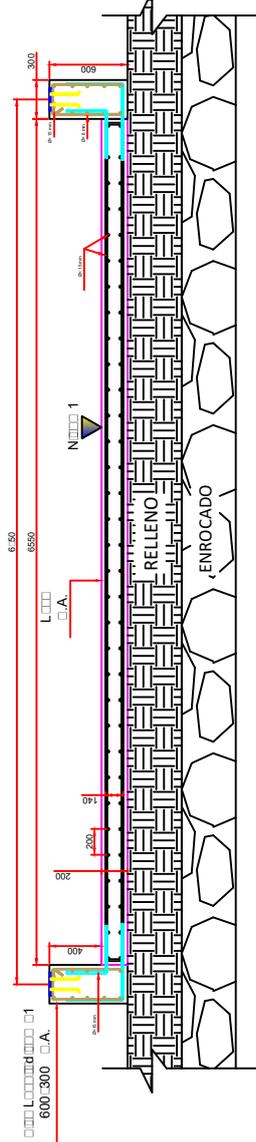
PLACA



PLACA BASE PARA COLUMNAS



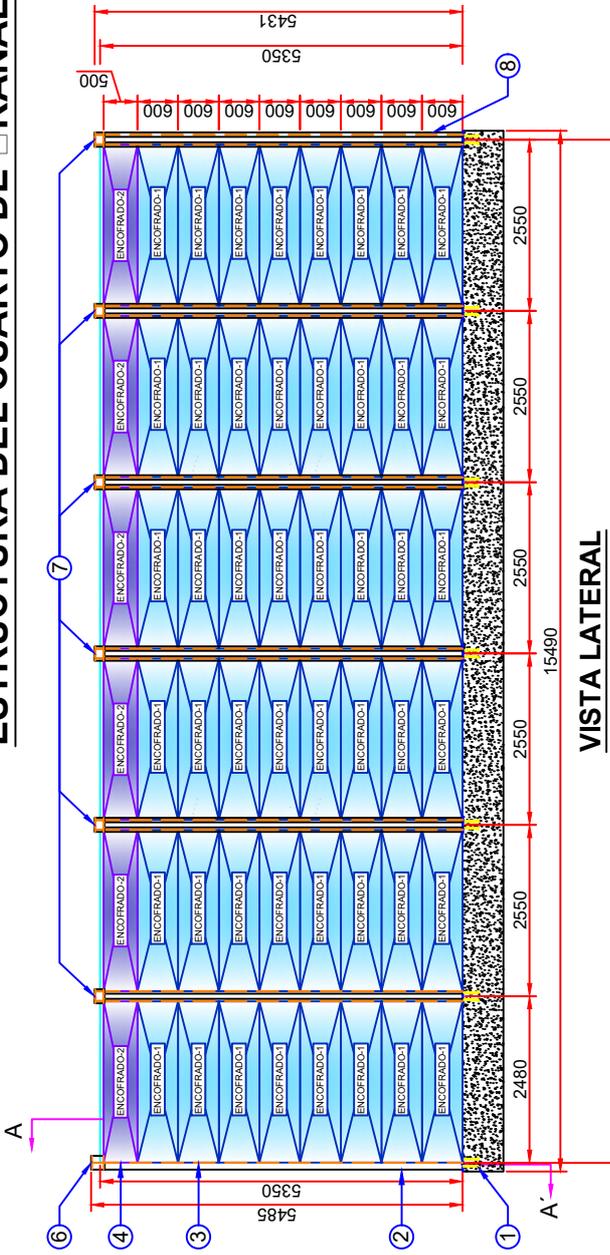
CORTE B-B'



ESPOL-FIMCP

NOMBRE	ALEX FERNANDEZ
FECHA	AGOSTO
DIBUJADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ
REVISADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ
LOSA DE HORMIGÓN ARMADO	No. 2

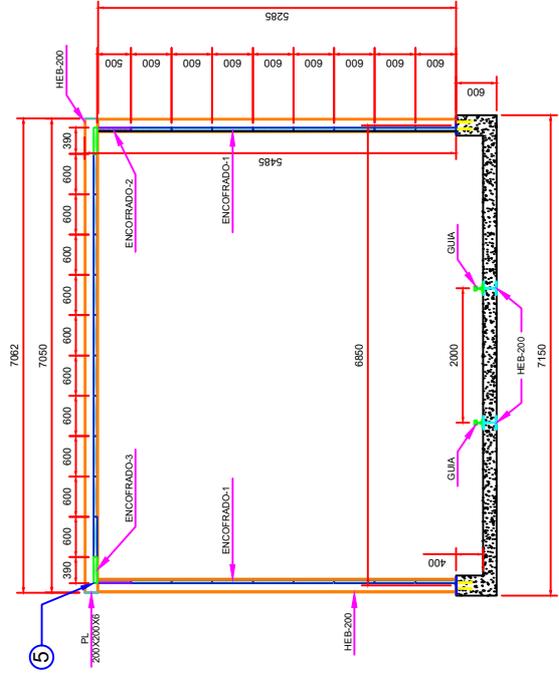
ESTRUCTURA DEL CUARTO DE RANALLADO



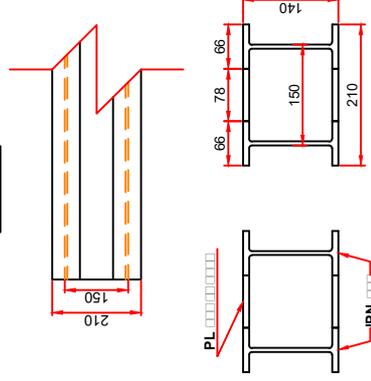
VISTA LATERAL

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	PLACA BASE PARA COLUMNAS	14
2	COLUMNA HEB-200	2
3	ENCOFRADO TIPO 1	178
4	ENCOFRADO TIPO 2	15
5	ENCOFRADO TIPO 3	12
6	VIGA HEB-200	1
7	VIGA CAJON IPN-140	6
8	COLUMNA CAJON IPN-140	12

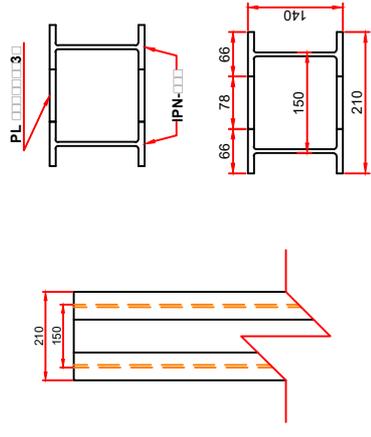
CORTE A - A'



VIGA CAJON
IPN-140



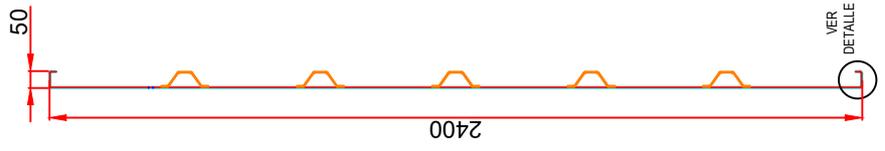
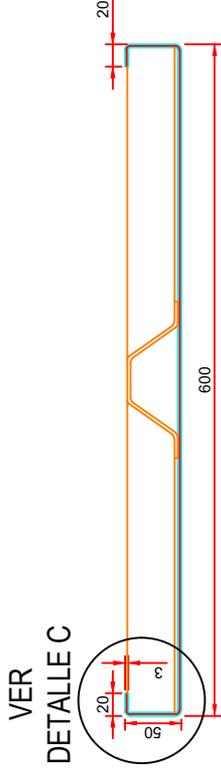
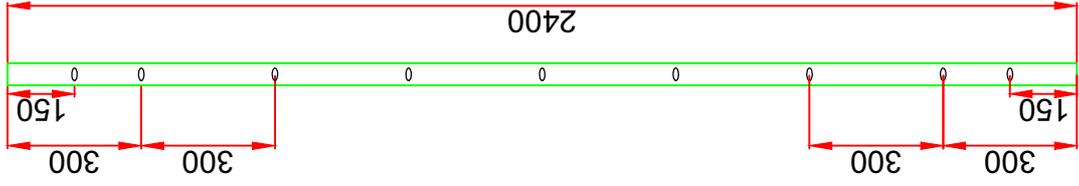
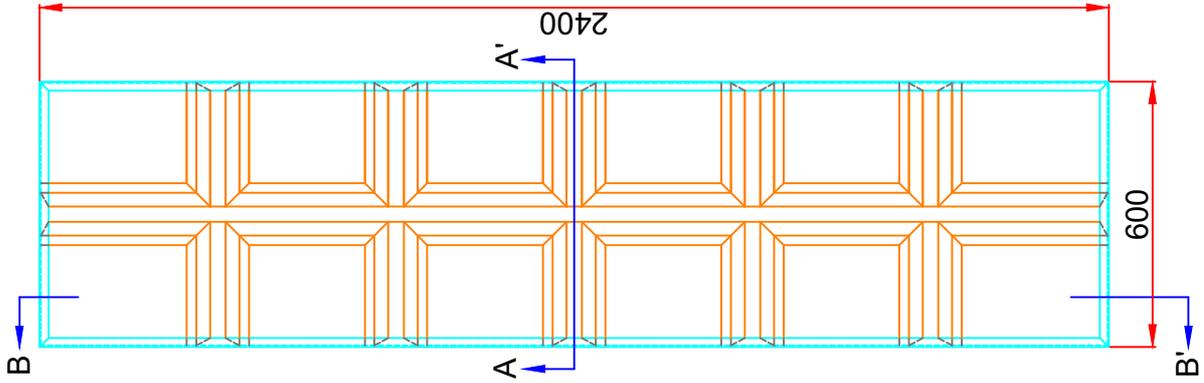
COLUMNA CAJON
IPN-140



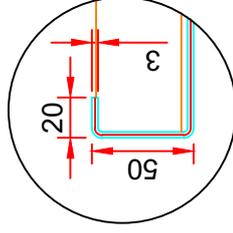
ESPOL-FIMCP

NOMBRE	ALEX FERNANDEZ	FECHA	AGOSTO
DIBUJADO POR:	ALEX FERNANDEZ	REVISADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ
ESTRUCTURA DEL CUARTO DE <input type="checkbox"/> RANALLADO			No. 3

ENCOFRADO TIPO



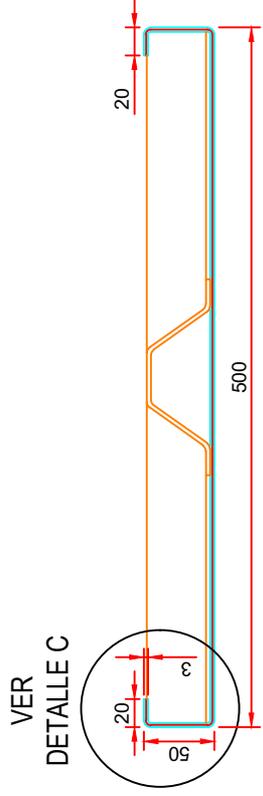
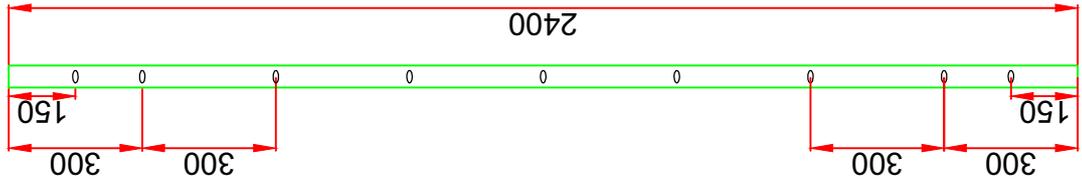
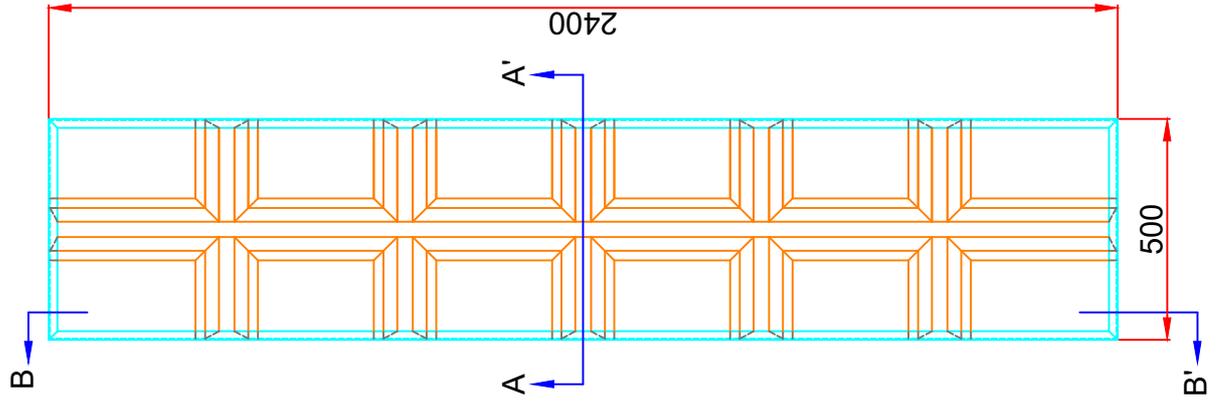
DETALLE C



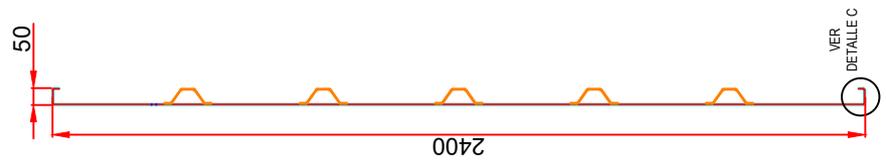
ESPOL-FIMCP

NOMBRE		FECHA
ALEX FERNANDEZ		AGOSTO
DIBUJADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ	AGOSTO
REVISADO POR:		
ENCOFRADO TIPO <input type="checkbox"/>		No. 4

ENCOFRADO TIPO

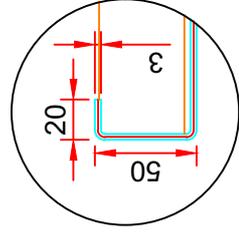


CORTE A-A'



CORTE B-B'

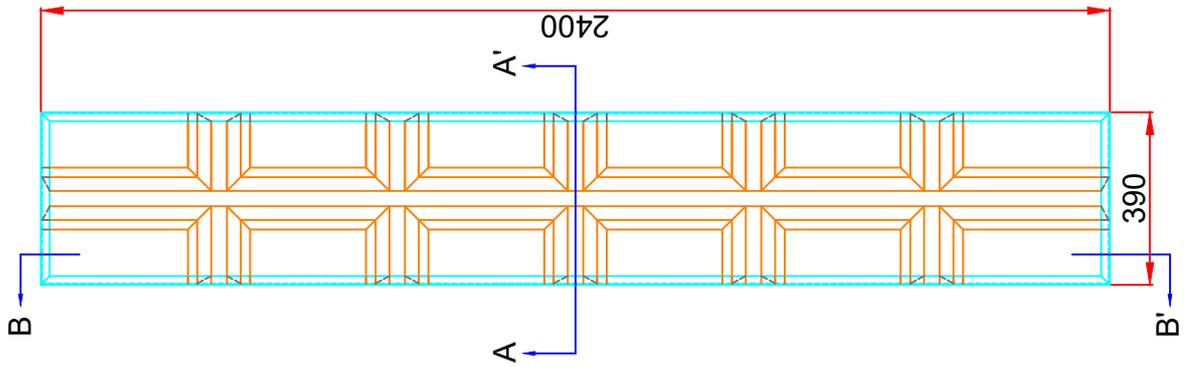
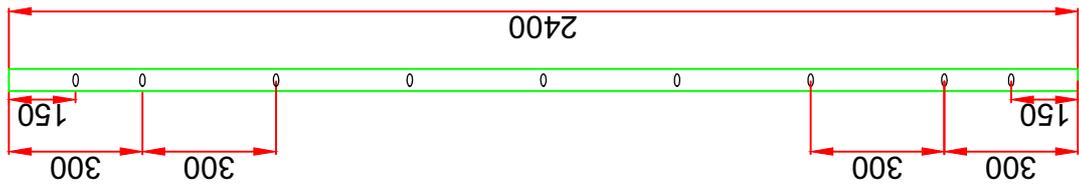
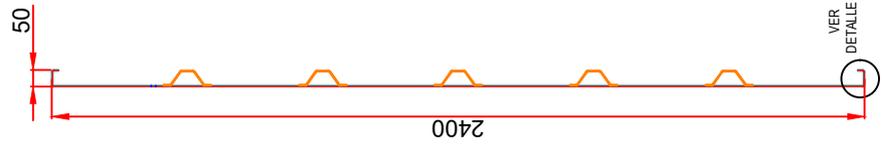
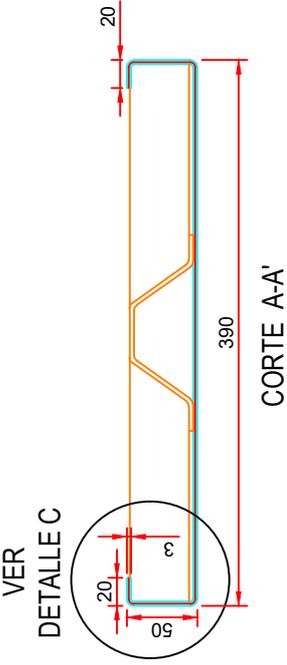
DETALLE C



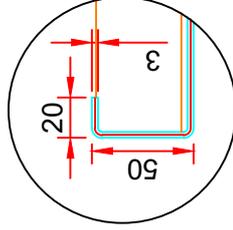
ESPOL-FIMCP

NOMBRE		FECHA
ALEX FERNANDEZ		AGOSTO
DIBUJADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ	AGOSTO
REVISADO POR:	ING. ERNESTO MARTINEZ	AGOSTO
ENCOFRADO TIPO <input type="checkbox"/>		No. 5

ENCOFRADO TIPO 3



DETALLE C



ESPOL-FIMCP

NOMBRE		FECHA
ALEX FERNANDEZ		AGOSTO
ING. ERNESTO MARTINEZ		AGOSTO
ENCOFRADO TIPO 3		No. 6

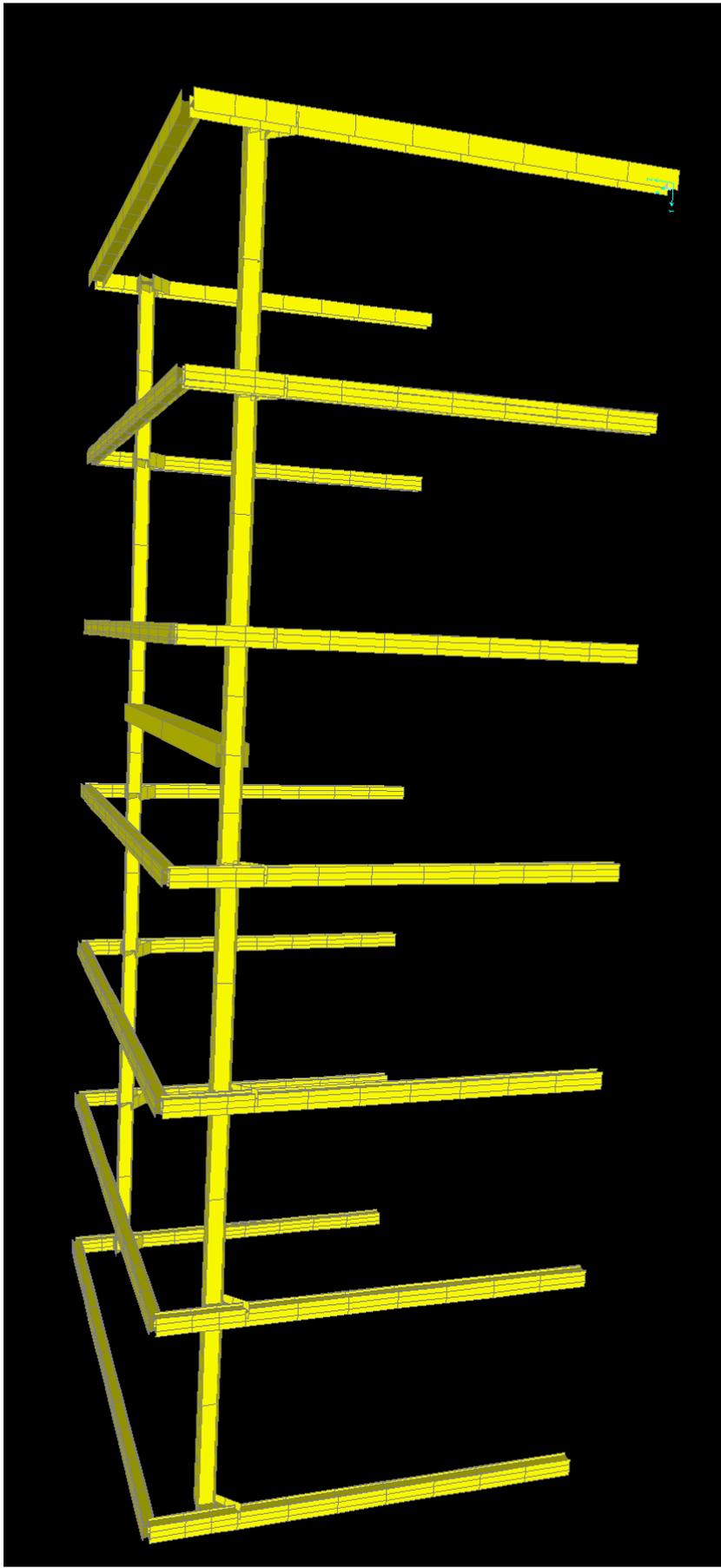
DIBUJADO POR:

REVISADO POR:

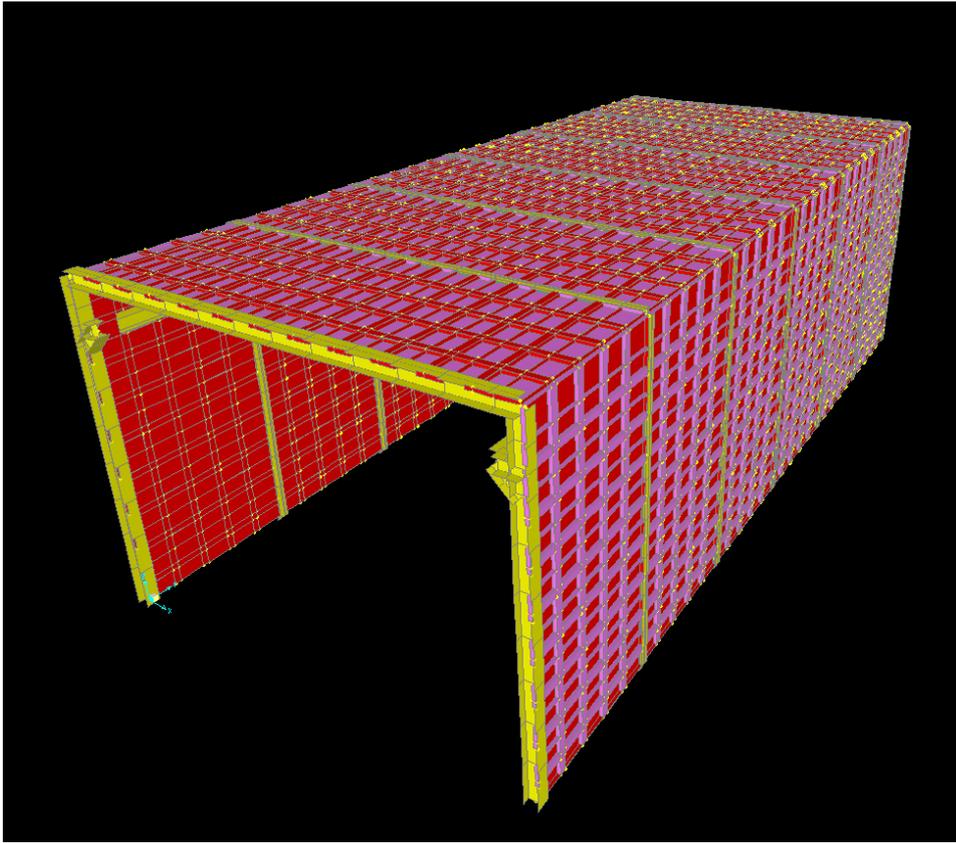
ENCOFRADO TIPO 3

CORTE B-B'

APÉNDICE B: Análisis Estructural del Cuarto de Granallado



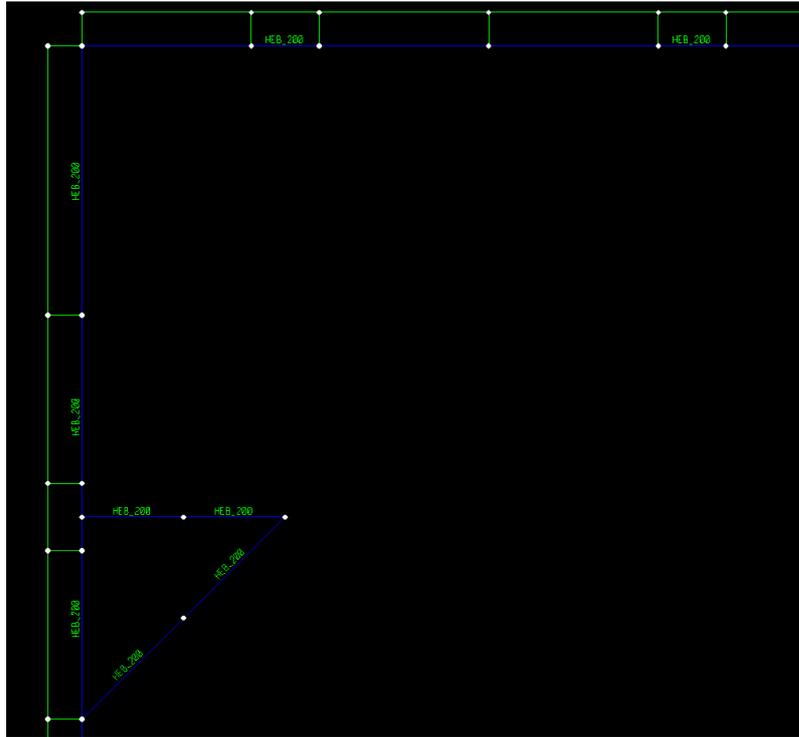
Vista en 3D de la estructura del cuarto de granallado



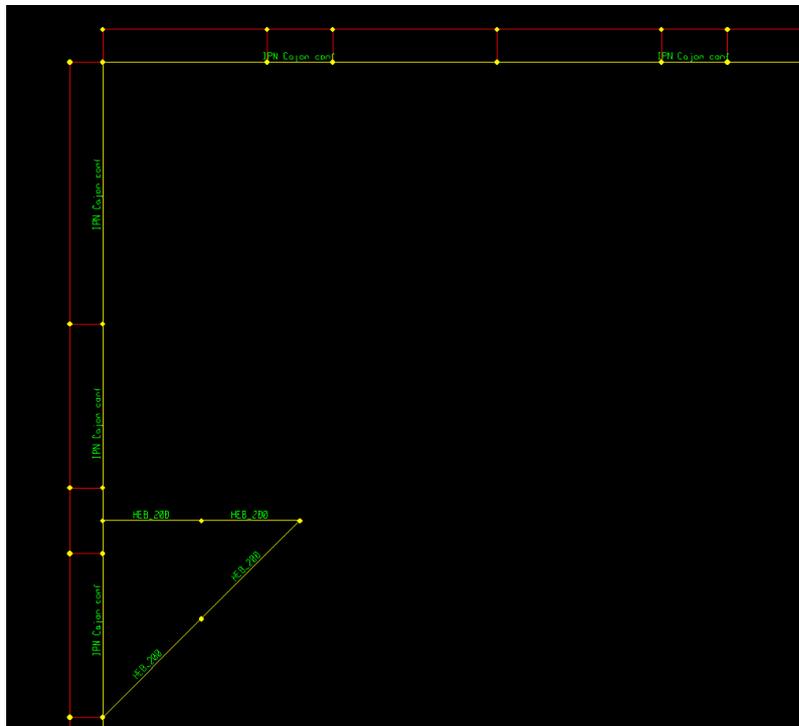
Vista en 3D de la estructura y encofrados del cuarto de granallado



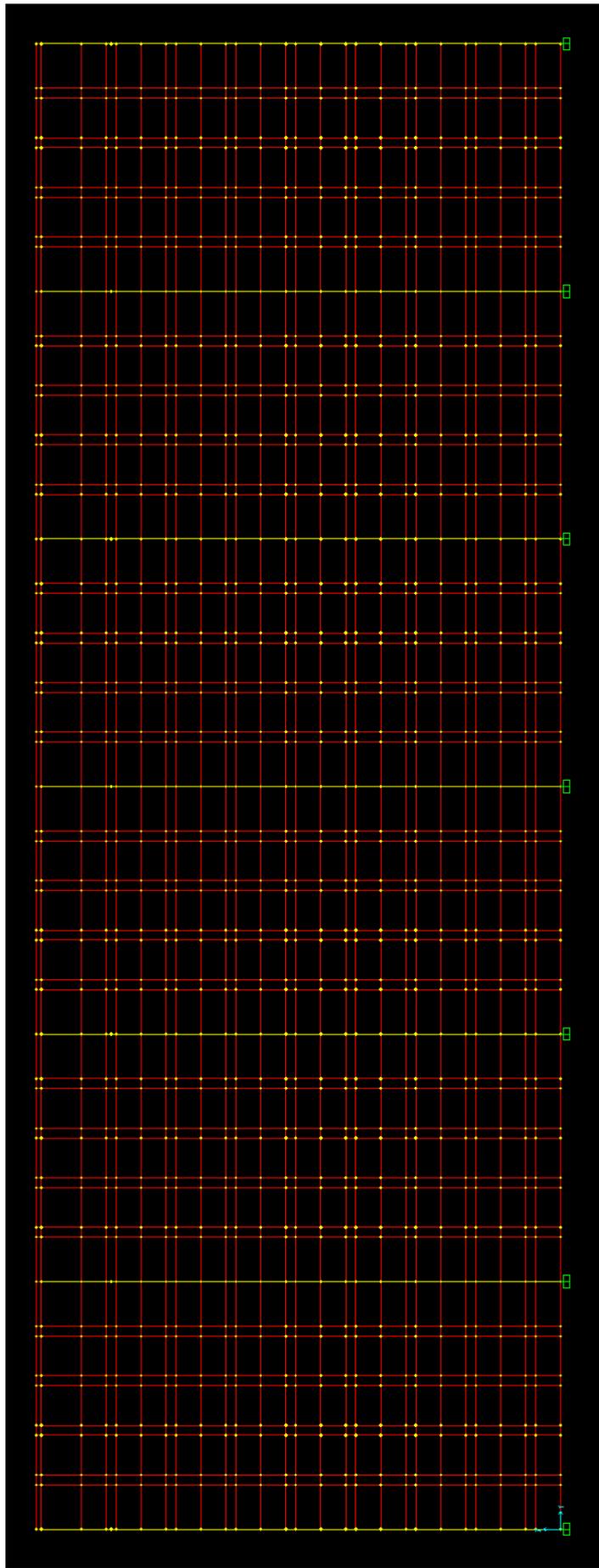
Vista frontal de la estructura del cuarto de granallado



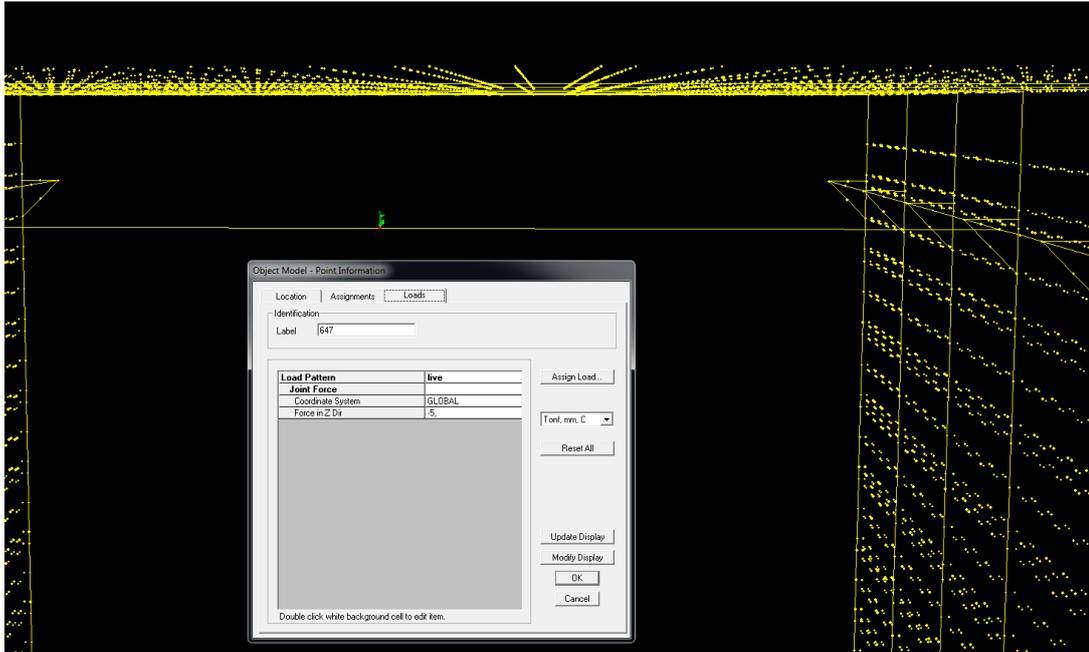
Descripción de perfiles en pórtico principal



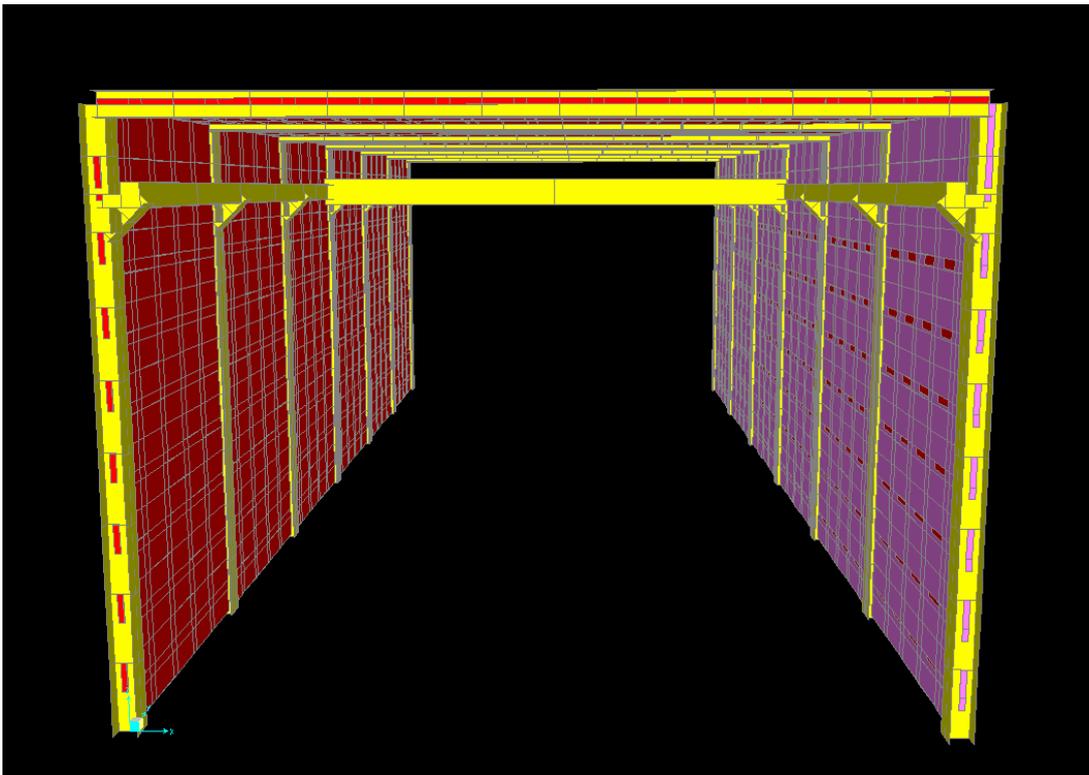
Descripción de perfiles en pórtico secundario



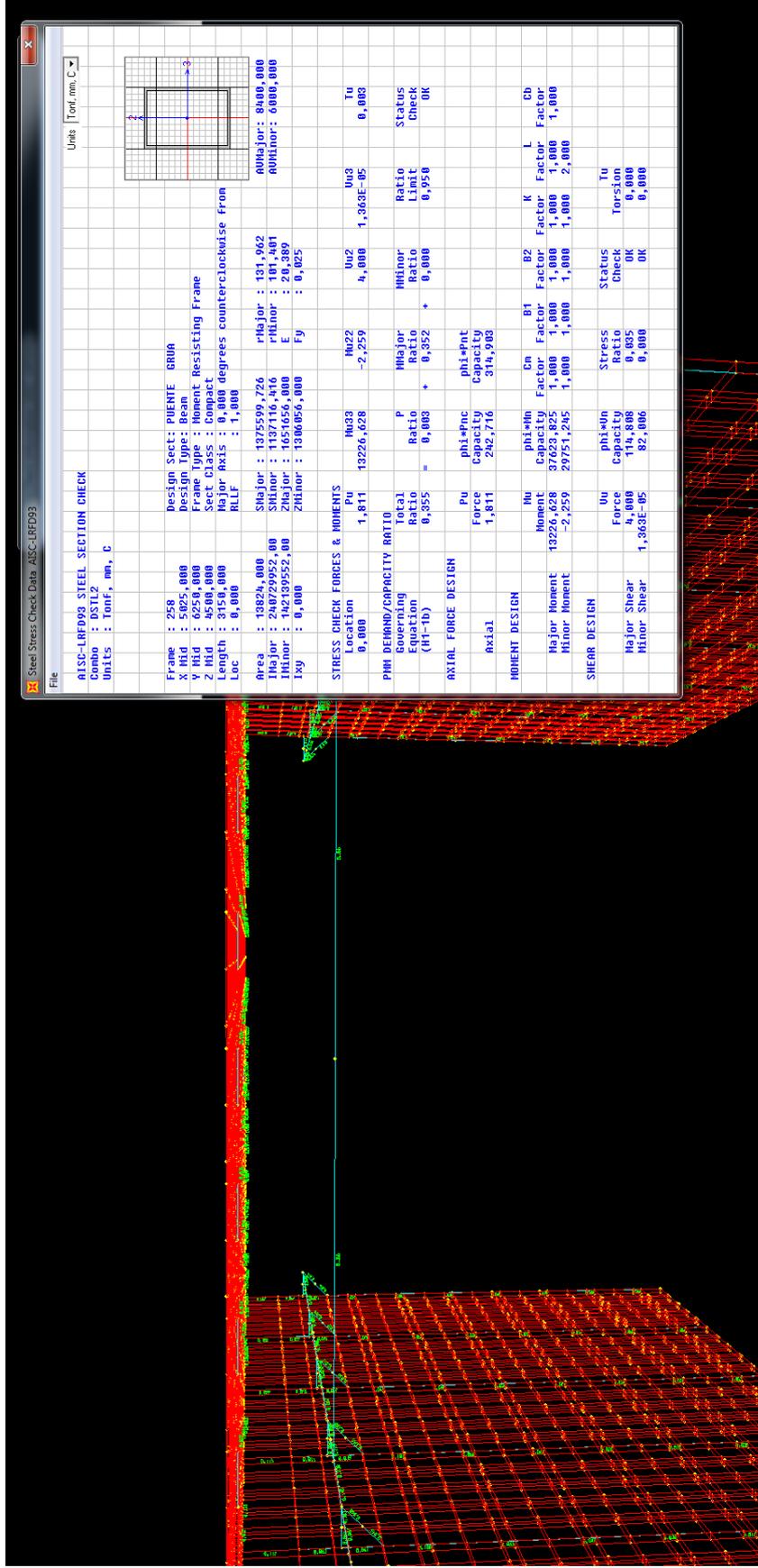
Designación de restricciones



Designación de carga en la estructura



Carga viva de 5 Toneladas



Carga ubicada en el centro de viga-Maxima Deflexión

APÉNDICE C: Fotografías



Lectura de planos



Trazado



Excavación



Nivelación



Encofrado



Conformación de losa



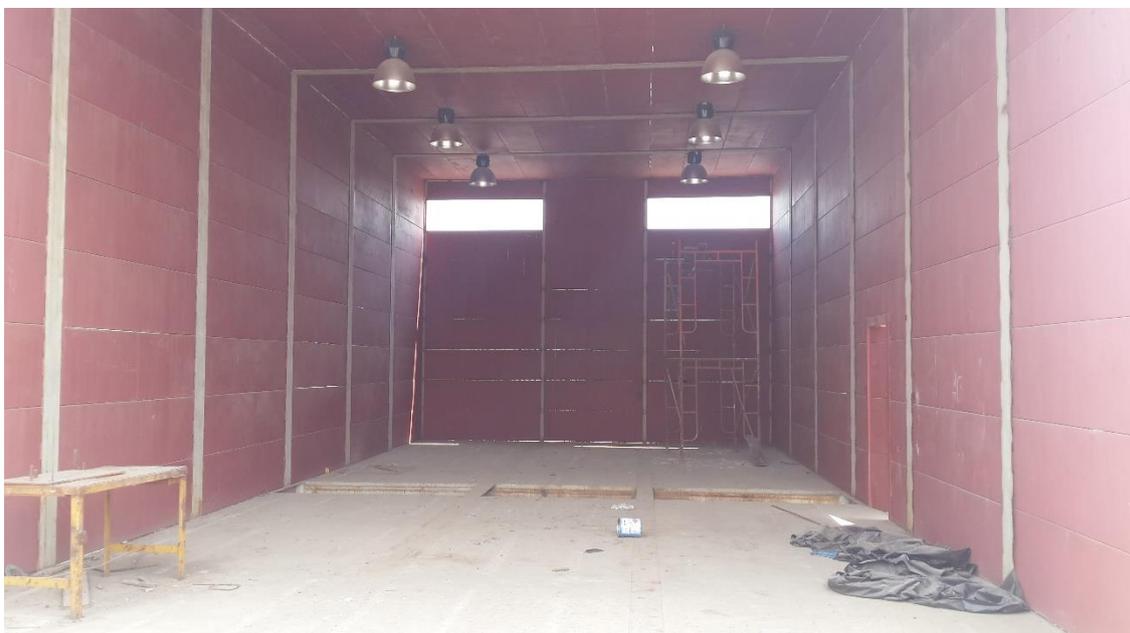
Estructura del cuarto de granallado – Vista frontal



Estructura del cuarto de granallado – Vista lateral



Estructura del cuarto de granallado – Vista posterior



Estructura del cuarto de granallado – Interior



Cavidad intermedia para instalación de banda transportadora

APÉNDICE D: Tablas de Costos

Costo de material

Descripción	Material	Long. (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	kg/mt	Cant.	Peso(Kg)	Unidad	Precio unitario	Precio Total
PL. 3X1220X6000	ASTM A-36	6000	1220	3	-	90	15.514,74	\$/KG	0,69	10755,00
HEB-200	ASTM A-36	6000	-	-	61,3	12	4.413,60	\$/KG	1,32	5847,60
IPE-140	ASTM A-36	6000	-	-	12,9	26	2.012,40	\$/KG	1,45	2912,00
PLT. 100X6X6000	ASTM A-36	6000	-	-	4,71	26	734,76	\$/KG	1,54	1131,00
L 50X50X3	ASTM A-36	6000	-	-	2,24	2	26,88	\$/KG	1,02	27,36
PRECIO TOTAL										\$ 9.917,96

NOTA: EL COSTO DE PL 3X1220X6000 NO SE TOMA EN CUENTA DEBIDO A QUE ESTE PRODUCTO(ENCOFRADO) YA SE ENCONTRABA EN STOCK Y DADO DE BAJA

[Fuente: Elaboración propia]

Costo de Equipos Importados

Equipo	Cant.	Unidad	Precio unitario	Precio total
SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GRANALLA				
Transportador de banda y accesorios.	1	Global		
Elevador de cangilones	1			
Limpiador y tamizador de granalla	1			
Silo de almacenaje	1			
Tablero de control de comando general	1			
Equipo con doble salida para dos operarios simultáneos e independientes.	1			
Mangueras, acoples y boquillas N° 6.	1			
Equipo de seguridad para dos operarios	3			
Colector de polvos modelo Y943	1			
Tablero eléctrico de comando general	1			
Ductos de aspiración	1			
INTERNACIÓN AL PAIS				
Subtotal				\$ 58.500,00
Transporte (10 %)				\$ 5.850,00
Seguro (10 %)				\$ 5.850,00
Aranceles (45%)				\$ 26.325,00
PRECIO TOTAL				\$ 96.525,00

[Fuente: Elaboración propia]

Costo de Equipos de adquisición local

Equipos	Cant.	Unidad	Precio unitario	Precio total
Tablero de control electrico, TD/CE	1	U	1512,00	\$ 1.512,00
Luminaria metal halide + vidrio de seguridad, 250W-220V	8	U	509,60	\$ 4.076,80
Laminas de caucho color negro	300	m^2	28,37	\$ 8.511,00
PRECIO TOTAL				\$ 14.099,80

[Fuente: Elaboración propia]

Costo de mano de obra

Item	Descripción	Precio total
1	Montaje del cuarto de granallado.	5280
2	Instalación del sistema de recuperación de granalla.	2450
3	Sistema de limpieza de granalla.	650
4	Instalación del colector de polvos.	4850
5	Recubrimiento interior de paredes y puertas.	1340
6	Instalación del sistema de iluminación	1970
Subtotal		\$ 16.540,00
Iva (12 %)		\$ 1.984,80
Imprevistos (10 %)		\$ 1.654,00
PRECIO TOTAL		\$ 20.178,80

[Fuente: Elaboración propia]

Costo fabricación local

Item	Descripción	Precio total
1	Costo de materiales	\$ 9.917,96
2	Costo de equipos importados	\$ 96.525,00
3	Costo de equipos de adquisición local	\$ 14.099,80
4	Costo de mano de obra	\$ 20.178,80
Subtotal		\$ 140.721,56
Imprevistos (5 %)		\$ 7.036,08
TOTAL		\$ 147.757,64

[Fuente: Elaboración propia]

Costo Importación

Equipo	Cant.	Unidad	Precio unitario	Precio total
SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE GRANALLA-AIR BLAST				
Cuarto de Granallado según oferta técnica Dimensiones útiles: 15 x 5 x 5 mts nuevo, Industria Argentina	1	Global	\$ 139.700,00	\$ 139.700,00
INTERNACIÓN AL PAIS				
Subtotal				\$ 139.700,00
Transporte (10 %)				\$ 13.970,00
Seguro (10 %)				\$ 13.970,00
Aranceles (45%)				\$ 62.865,00
PRECIO TOTAL				\$ 230.505,00

[Fuente: Elaboración propia]

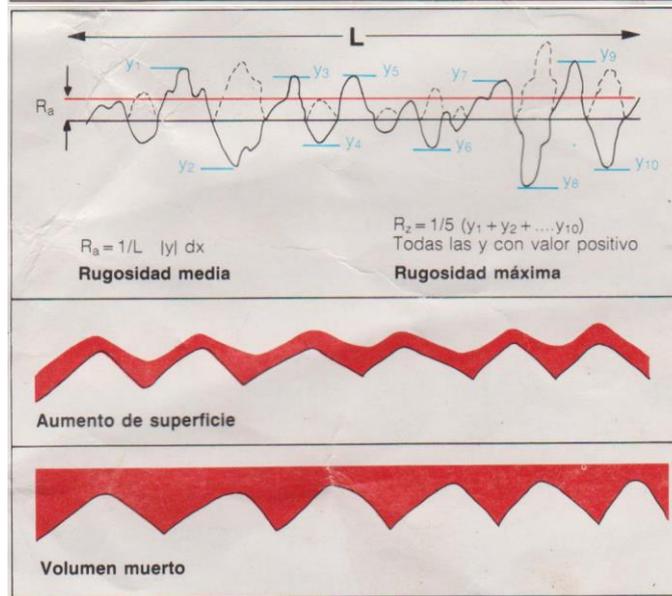
Porcentaje de ahorro

PORCENTAJE DE AHORRO	
COSTO IMPORTACION	\$ 230.505,00
COSTO FABRICACION LOCAL	\$ 147.757,64
PORCENTAJE DE AHORRO %	35,90 %

[Fuente: Elaboración propia]

APÉNDICE E: Información Técnica

Rugosidad media en micras (R_a)	Aumento de la superficie en %	Volumen muerto en l/100 m ²
5	6	0,2
10	10	0,7
15	14	1,2
20	18	1,7
25	22	2,2



Rugosidad

ACERO Preparación de superficies - contaminantes

Contaminante	Acero nuevo	Acero recubierto	MÉTODO
Calamina	+	-	Chorro abrasivo
Óxido	+	+	Métodos mecánicos Chorro abrasivo
Aceite y grasa	+	+	Detergentes/emulsionantes Posterior aclarado
Sales	+	+	Agua dulce abundante
Pintura vieja en mal estado	-	+	Rasquetado Cepillado Chorro abrasivo Decapantes
Polvo	+	+	Soplado/cepillado/aspiración

Preparación de Superficies

Norma sueca	Descripción	Equivalencia con otras normas
ISO 8501-1 SIS 055900 Sa3	Eliminar la totalidad del óxido visible, cascarilla de laminación, pintura vieja y cualquier materia extraña. Limpieza por chorreado hasta metal blanco . El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo necesario para eliminar la totalidad de la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, la superficie se limpia con un aspirador, aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio, para eliminar los residuos de polvo de abrasivo. Debe entonces quedar con un color metálico uniforme.	SSPC-SP-5 Chorreado a metal blanco. BS 4232: Primera calidad.
ISO 8501-1 SIS 055900 Sa2½	Chorreado abrasivo hasta metal casi blanco , a fin de conseguir que por lo menos el 95% de cada porción de la superficie total quede libre de cualquier residuo visible. Chorreado muy cuidadoso. El chorro se mantiene sobre la superficie el tiempo necesario para asegurar que la cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas son eliminados de tal forma que cualquier residuo aparezca sólo como ligeras sombras o manchas en la superficie. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio.	SSPC-SP-10 Chorreado a metal casi blanco. BS 4232: Segunda calidad.
ISO 8501-1 SIS 055900 Sa2	Chorreado hasta que al menos los 2/3 de cualquier porción de la superficie total estén libres de todo residuo visible. Chorreado cuidadoso. El chorro se pasa sobre la superficie durante el tiempo suficiente para eliminar la casi totalidad de cascarilla de laminación, herrumbre y materias extrañas. Finalmente, se elimina el polvo de abrasivo con un aspirador, con aire comprimido limpio y seco o con un cepillo limpio. La superficie debe quedar de color grisáceo.	SSPC-SP-6 Chorreado comercial. BS 4232: Tercera calidad.
ISO 8501-1 SIS 055900 S13	Rascado con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre, muy cuidadoso. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar un pronunciado aspecto metálico.	SSPC-SP-3 Limpieza mecánica. BS 4232: No tiene equivalente.
ISO 8501-1 SIS 055900 S12	Rascado cuidadoso con rasquetas de metal duro y cepillado con cepillo de alambre. El rascado y cepillado deben realizarse en primer lugar en una dirección y después en sentido perpendicular. Una vez eliminado el polvo, la superficie debe mostrar aspecto metálico.	SSPC-SP-2 Limpieza manual. BS 4232: No tiene equivalente.

Existe también el grado Sa1, que corresponde a un chorreado ligero o soplado con abrasivo, pero en la práctica se usa muy poco.

Grados de limpieza: Normas ISO 8501-1 - SIS 055900

SHORT BARREL NOZZLES are used for blast applications where the operator must work within 12 inches of the surface.

One Inch Entry

Thread:	1-1/4" Straight Thread				50 mm Thread		
	Kirkite	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane
Jacket:	Kirkite	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane
Liner:	Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	Clemite	Clemite	Clemite	Clemite
Length	4-1/2"	3-1/4"	3-3/8"	3"	3-3/8"	3"	3-3/8"
Orifice (No.)							
3/16" [3]	CML-3	CJD-3	TJR-3	SJD-3	SJR-3	SYD-3	SYR-3
1/4" [4]	CML-4	CJD-4	TJR-4	SJD-4	SJR-4	SYD-4	SYR-4
5/16" [5]	CML-5	CJD-5	TJR-5	SJD-5	SJR-5	SYD-5	SYR-5
3/8" [6]	CML-6	CJD-6	TJR-6	SJD-6	SJR-6	SYD-6	SYR-6
7/16" [7]	CML-7	CJD-7	TJR-7	SJD-7	SJR-7	SYD-7	SYR-7
1/2" [8]	CML-8	CJD-8	TJR-8	SJD-8	SJR-8	SYD-8	SYR-8

* Available in straight bore only.

LONG BARREL NOZZLES are used for high production jobs where the operator can blast more than 12" from the surface.

One Inch Entry

Jacket Material	1-1/4" Straight Thread				50 mm Thread				One and One Quarter Inch Entry				
	Kirkite	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane	Kirkite	Urethane
Linier Material	Boron Carbide	Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	Clemite	Clemite	Clemite	Clemite	Clemite	Clemite	Tungsten Carbide	Tungsten Carbide	Clemite	Clemite
Orifice (No.) Length													
3/16" [3] 4"		CSD-3	TSR-3	SSD-3	SSR-3	SMD-3	SMR-3						
1/4" [4] 5-1/4"	CNSD-4	CSD-4	TSR-4	SSD-4	SSR-4	SMD-4	SMR-4						
5/16" [5] 5-5/8"	CNSD-5	CSD-5	TSR-5	SSD-5	SSR-5	SMD-5	SMR-5						
3/8" [6] 6-1/2"	CNSD-6	CSD-6	TSR-6	SSD-6	SSR-6	SMD-6	SMR-6	SXD-6	SXR-6	SDX-6	TFR-6	SFD-6	SFR-6
7/16" [7] 7-3/4"	CNSD-7	CSD-7	TSR-7	SSD-7	SSR-7	SMD-7	SMR-7	SXD-7	SXR-7	SDX-7	TFR-7	SFD-7	SFR-7
1/2" [8] 8-13/16"	CNSD-8	CSD-8	TSR-8	SSD-8	SSR-8	SMD-8	SMR-8	SXD-8	SXR-8	SDX-8	TFR-8	SFD-8	SFR-8
5/8" [10] 9"										SDX-10			
3/4" [12] 9"										SDX-12			

Sand Consumption per Hour and Air Flow in Cubic Feet per Minute

Orifice Size	Pressure at Nozzle (p.s.i.)				Required air (c.f.m.)	Required sand (lbs./hr.)
	50	60	70	80		
3/16"	26.0	30.0	33.0	38.0	41.0	45.0
	150.0	171.0	196.0	216.0	238.0	264.0
	6.0	7.0	7.5	8.5	9.5	10.0
1/4"	47.0	54.0	61.0	68.0	74.0	81.0
	268.0	312.0	354.0	408.0	448.0	494.0
	10.5	12.0	13.5	15.5	16.5	18.0
5/16"	77.0	89.0	101.0	113.0	126.0	137.0
	468.0	534.0	604.0	672.0	740.0	812.0
	17.5	20.0	25.5	22.5	28.0	30.5
(1) 3/8"	108.0	126.0	143.0	161.0	173.0	196.0
	668.0	764.0	864.0	960.0	1052.0	1152.0
	24.0	28.0	32.0	36.0	38.5	44.0
(1) 7/16"	147.0	170.0	194.0	217.0	240.0	254.0
	896.0	1032.0	1176.0	1312.0	1448.0	1584.0
	33.0	38.0	43.5	48.5	53.5	56.5
(1) 1/2"	195.0	224.0	252.0	280.0	309.0	338.0
	1160.0	1336.0	1512.0	1680.0	1856.0	2024.0
	43.5	50.0	56.0	62.5	69.0	75.0
(2) 5/8"	308.0	356.0	404.0	452.0	504.0	548.0
	1875.0	2140.0	2420.0	2690.0	2970.0	3250.0
	68.5	79.5	90.0	100.5	112.0	122.0
(2) 3/4"	432.0	504.0	572.0	644.0	692.0	784.0
	2672.0	3056.0	3456.0	3840.0	4208.0	4608.0
	96.0	112.0	127.0	143.0	154.0	174.5

Requirements for air (cubic feet per minute), sand (pounds per hour), and compressor horsepower. Air requirements were measured by a flow meter under actual blasting conditions, and are therefore lower than figures for air alone, with no abrasive. Horsepower requirements are based on 4.5 c.f.m. per h.p. Figures may vary for different working conditions.

(1) Blast machines should be equipped with 1-1/4" piping and valves to provide sufficient air volume.

(2) Blast machine piping, valves and blast hose may have to be enlarged to prevent pressure loss.



Specialty Nozzles
CT style: A Tungsten Carbide Lined straight bore nozzle for use with small suction gun or blast cabinets. Orifice diameters range from 1/8" to 1/2" in 1/16" increments (excluding 7/16"); all nozzles are 1-3/4" in length and have 3/4" straight pipe thread. (Model Numbers: CT-2, CT-3, CT-4, CT-5, CT-6, and CT-8). Also used with Model 1028 and 1042 Blast Machines.



CAM style: An angle nozzle designed to blast blind surfaces such as mold cavities or behind beams. Tungsten Carbide lined, the nozzles are available in one or three outlets. All CAM style nozzles are three inches in length and have three orifice diameters: 1/4", 5/16" and 3/8" and 1-1/4" straight pipe threads. (Model Numbers: CAM 4 x 1, CAM 4 x 3, CAM 5 x 1, CAM 5 x 3, CAM 6 x 1, and CAM 6 x 3)

Long Barrel Nozzles are used for high production jobs where the operator can blast more than 12" from the surface.

Tablas para selección de Boquillas

CANGILONES TIPO CC-HD Y CC-XD "DE PERFIL BAJO"

TAMANO (Nominal) Milímetros	TAMANO (Nominal) Pulgadas	Espaciado (Mínimo) en Correa Pulgadas	Profundidad C ± 1/8"	Capacidad Polietileno		Peso (Promedio) Libras	Capacidad Uretano		Peso (Promedio) Libras	Capacidad Nylon		Peso (Promedio) Libras
				WL (1) Pulg. Cub.	Toler. ± 3% Pie Cub.		WL (1) Pulg. Cub.	Toler. ± 3% Pie Cub.		WL (1) Pulg. Cub.	Toler. ± 3% Pie Cub.	
80-60	3 X 2	2	2	6.0	.0035	.11	6.2	.0036	0.14	6.2	.0036	0.12
120-80	4 X 3	3	3	16.8	.0097	.23	17.5	.0101	0.32	17.5	.0101	0.25
140-120	5 X 4	3	2-3/4	35.8	.0207	.38	37.2	.0215	0.51	37.2	.0215	0.42
160-120	6 X 4	3	2-3/4	43.3	.0251	.44	45.0	.0260	0.60	45.0	.0260	0.49
180-120	7 X 4	3	2-3/4	49.7	.0288	.49	51.7	.0299	0.67	51.7	.0299	0.55
160-140	6 X 5	4	3-3/4	68.3	.0395	.37	71.0	.0411	0.91	71.0	.0411	0.75
180-140	7 X 5	4	3-3/4	75.8	.0439	.82	78.8	.0456	1.11	78.8	.0456	0.96
200-150	8 X 5	4	3-3/4	85.4	.0494	.94	88.8	.0514	1.28	88.8	.0514	1.11
230-140	9 X 5	4	3-3/4	97.9	.0567	.86	101.8	.0589	1.18	101.8	.0589	1.02
260-140	10 X 5	4	3-3/4	113.5	.0657	1.05	118.0	.0683	1.39	118.0	.0683	1.18
280-140	11 X 5	4	3-3/4	127.2	.0736	1.07	132.2	.0766	1.63	132.2	.0766	1.23
300-140	12 X 5	4	3-3/4	143.1	.0828	1.20	148.8	.0861	1.84	148.8	.0861	1.55
200-160	8 X 6	5	4-3/4	124.5	.0720	1.14	129.5	.0749	1.49	129.5	.0749	1.20
230-160	9 X 6	5	4-3/4	135.9	.0786	1.22	141.3	.0818	1.71	141.3	.0818	1.46
260-160	10 X 6	5	4-3/4	150.4	.0870	1.31	156.4	.0905	1.80	156.4	.0905	1.60
280-160	11 X 6	5	4-3/4	173.4	.1003	1.43	180.3	.1043	1.90	180.3	.1043	1.65
300-160	12 X 6	5	4-3/4	185.4	.1073	1.58	192.8	.1116	2.14	192.8	.1116	1.80
330-160	13 X 6	5	4-3/4	203.8	.1179	1.64	212.0	.1227	2.22	212.0	.1227	1.90
350-160	14 X 6	5	4-3/4	198.3	.1148	1.70	206.2	.1193	2.45	206.2	.1193	2.16
260-180	10 X 7	6	5-3/4	219.4	.1270	1.90	228.2	.1321	2.58	228.2	.1321	2.25
280-180	11 X 7	6	5-3/4	234.2	.1355	2.06	243.6	.1410	2.90	243.6	.1410	2.43
300-180	12 X 7	6	5-3/4	248.2	.1436	2.08	258.1	.1494	2.91	258.1	.1494	2.46
330-180	13 X 7	6	5-3/4	284.4	.1646	2.36	295.8	.1712	3.21	295.8	.1712	2.80
350-180	14 X 7	6	5-3/4	301.9	.1747	2.49	314.0	.1817	3.28	314.0	.1817	2.89
370-180	15 X 7	6	5-3/4	331.4	.1918	2.71	344.7	.1995	3.83	344.7	.1995	3.08
400-180	16 X 7	6	5-3/4	346.5	.2005	2.77	360.4	.2086	3.85	360.4	.2086	3.23
450-180	18 X 7	6	5-3/4	396.7	.2296	3.24	412.6	.2388	4.50	412.6	.2388	3.96
500-180	20 X 7	6	5-3/4	433.3	.2508	3.60	450.6	.2608	5.00	450.6	.2608	4.40

Cangilones TAPCO