

Trabajo de Fin de Grado
Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Proyecto Integral: Planta Industrial para Ensamblaje
de Turbinas

Autor: Luis Azaña Caro

Tutor: Emilio Romero Rueda

Dpto. Ingeniería de la construcción y proyectos
de ingeniería

Sevilla, 2016



Proyecto Fin de Carrera
Grado Ingeniería en Tecnologías Industriales

Proyecto Integral: Planta Industrial para Ensamblaje de Turbinas

Autor:
Luis Azaña Caro

Tutor:
Emilio Romero Rueda

Dpto. Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Proyecto Integral: Planta Industrial para Ensamblaje de Turbinas

Autor: Luis Azaña Caro

Tutor: Emilio Romero Rueda

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia.

A mis profesores.

A mis compañeros.

*A todos los que alguna vez
confiaron en mí.*

Planta industrial para ensamblaje de turbinas eólicas.

Con el fin de reducir el consumo de combustibles fósiles: petróleo, gas natural y carbón; las energías renovables son la piedra angular para la transición energética, entre todas, la energía eólica es la más avanzada tecnológicamente que permite el mayor rendimiento para suministrar energía, eso la ha convertido en fuente renovable de electricidad por excelencia.

Esta fábrica consistirá en una suma de instalaciones, maquinaria, material auxiliar, mano de obra, suministro de flujo eléctrico, hidráulico y otros servicios auxiliares, que permitan recibir los distintos componentes que conforman la turbina eólica y ensamblarlas para producir turbinas.

Se desarrolla el proceso de fabricación y el proceso logístico más eficiente, adoptando soluciones que se adapten a la demanda y minimizando costes de producción, mantenimiento y transporte.

Resumen	ix
Índice	xi
Índice de Tablas	xiv
Índice de Gráficas	xv
Imágenes y Diagramas	xvi
Notación	xvii
1 Turbina Eólica	11
1.1. Turbina Eólica	11
1.2. Rendimiento	11
1.3. Componentes	13
1.4. Tamaño de Turbinas	15
1.5. Seguridad	16
1.6. Generadores	17
1.7. Cajas Multiplicadoras en Aerogeneradores	23
1.8. Controlador electrónico de la turbina eólica	24
1.9. Diseño de Turbinas	26
1.10. Rotor	28
1.11. Palas	29
1.12. Optimización	30
1.13. Ruidos	31
1.14. Ensayos de palas de aerogeneradores	33
1.15. Fabricación de Aerogeneradores	35
1.16. Explotación de Aerogeneradores en la red eléctrica	37
1.17. Economía	39
1.19. Errores	45
1.20. Ilustraciones	48
2. Estudio de Mercado de Turbinas Eólicas	50
2.1. Estudio de Mercado	50
2.1.1. Destacados	56
2.1.2. Crecimiento de la instalación eólica global	56
2.1.3. Demanda destacada en 2015	56
2.1.4. Ofertantes: competidores y clientes	56
2.2. Diversificación, turbinas.	57
2.3. Futuro de la industria eólica	58
2.4. Sub-proveedores	59
2.5. Producción	59
2.3. Oferta	60
3. Proceso de Ensamblaje	62
3.1. Proceso Productivo	63
3.1.1. Ensamblaje del Generador al Rotor	63
3.1.2. Ensamblaje del eje de baja velocidad	63

3.1.3. Test de giro	63
3.1.4. Sistema de orientación y góndola	63
3.1.5. Subsistemas periféricos	63
3.1.6. Test de giro y de servicio	63
3.1.7. Carcasa Superior y Expedición	63
3.1.8. Comentarios	64
3.2. Maquinaria y Operarios	64
3.3. Diseño de las piezas para el ensamblaje	64
4. Layout	69
4.1. Consideraciones Previas	69
4.1.1. Factores Económicos	69
4.1.2. Consideraciones Humanas	69
4.1.3. Consideraciones ecológicas	69
4.1.4. Consideraciones Estéticas	69
4.2. Fases	69
Fase 1: definición del producto	69
Fase 2: estudio del proceso industrial	70
Fase 3: determinación de los medios de producción	70
Fase 4: determinación de los ciclos de fabricación e implantación de los elementos de trabajo	70
Fase 5: control de la fabricación	70
4.3. Estudio del proceso industrial	71
4.3.1. Organigrama del Proceso	72
4.4. Organización de los ciclos de producción	73
4.4.1. Definiciones Previas	73
4.4.2. Manutención y organización de los transportes internos	73
4.5. Instalaciones Auxiliares	78
4.6. Implantación	80
5. Proceso	93
5.0. Conceptos Básicos	93
5.1. Proceso operación por operación	94
5.1.1. Resumen de Actividades	94
5.1.2. Detalle de Operaciones	95
6. Estructura	119
6.1. Tipología Estructural	119
6.2. Estructura Nave Industrial	120
6.2.4. Perfiles de Barras	130
6.3. Estructura Oficina	131
7. Instalaciones	132
7.1. Alumbrado	133
7.3. Ventilación y Climatización	141
7.3.1. Temperatura	141
7.3.2. Humedad	141
7.3.3. Ventilación	141
7.2. Electricidad	144
7.2.1. Cargas Eléctricas	144
7.2.2. Potencia Contratada	144
7.4. Protección Contra Incendios	146
7.5. Cerramientos	153
7.5.1. Fachadas	153
7.5.2. Cubierta	158
8. Presupuesto	160

Referencias	161
Índice de Conceptos	163
Glosario	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Rendimiento de la turbina y sus componentes mecánicos

Tabla 2.- Potencia generada en función del número de polos y la frecuencia de giro.

Tabla 3.- Potencia eléctrica demandada en España. Fuente: REE

Tabla 5.- Capacidad total instalada y previamente instalada durante el 2015

Tabla 6.- Capacidad eólica prevista a 2019 por continentes.

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.1.- Relación velocidad del viento potencia suministrada.

Gráfica 1.2.- Producción de energía GWh/año para turbina de 600 kW

Gráfica 3.- Coste de electricidad de turbina de 600 kW

Gráfica 4.- Coste por electricidad producida en función del viento

Gráfica 5.- Potencia instalada durante el año 2015 según GWEC

IMÁGENES Y DIAGRAMAS

Ilustración 1.- Modelo 3D de un aerogenerador.	49
Ilustración 2.- Modelo 3D de un multiplicador.	49
Ilustración 3 Método SLP	77
Ilustración 4.- Ubicación en la planta industrial	82
Ilustración 5 Vista con perspectiva de la ubicación	83
Ilustración 6.- Vista en planta de la parcela de localización	83
Ilustración 7.- Vista en planta alejada	84
Ilustración 8.- Vista del polígono	84
Ilustración 9.- Vista de la ubicación en España	85
Ilustración 10.- Vista de pájaro de la nave industrial en el polígono	86
Ilustración 11.- Vista en planta de la nave industria en la parcela	86
Ilustración 12.- Representación de la nave industrial con viales de transporte	87
Ilustración 13.- Planos de la oficinas	88
Ilustración 14.- Naves Industriales	89
Ilustración 15.- Planos de naves puente grúa y camino de rodillos	91
Ilustración 16.- Vista en planta del puente grúa	98
Ilustración 17.- Vista en Alzado del puente grúa	100
Ilustración 18.- Vista detalle del polipasto del puente grúa	100
Ilustración 19.- Vista tridimensional de la estructura de la nave industrial	122
Ilustración 20 Carga de viento sobre la nave	129
Ilustración 21.- Carga de puente grúa	129
Ilustración 22.- Carga de Cubierta	130
Ilustración 23.- Vista en perspectiva de la luminaria	138
Ilustración 24.- Vista inferior de planta de luminaria	139
Ilustración 25.- Vista Superior planta de la luminaria	139
Ilustración 26.- Imagen de un aireador estático	143

Notación

A^*	Conjugado
c.t.p.	En casi todos los puntos
c.q.d.	Como queríamos demostrar
■	Como queríamos demostrar
e.o.c.	En cualquier otro caso
e	número e
Re	Parte real
Im	Parte imaginaria
sen	Función seno
tg	Función tangente
arctg	Función arco tangente
sen	Función seno
$\text{sen}^x y$	Función seno de x elevado a y
$\text{cos}^x y$	Función coseno de x elevado a y
S_a	Función sampling
sgn	Función signo
rect	Función rectángulo
Sinc	Función sinc
$\partial y \partial x$	Derivada parcial de y respecto
x°	Notación de grado, x grados.
$\text{Pr}(A)$	Probabilidad del suceso A
SNR	Signal-to-noise ratio
MSE	Minimum square error
:	Tal que
$<$	Menor o igual
$>$	Mayor o igual
\backslash	Backslash
\Leftrightarrow	Si y sólo si

1 TURBINA EÓLICA

*"Todos piensan en cambiar el mundo, pero nadie piensa en cambiarse a sí mismo."
- Alexei Tolstoi -*

1.1. Turbina Eólica

La turbina eólica es un dispositivo mecánico que permite transformar la energía cinética del viento en energía eléctrica. Para ello las palas del aerogenerador al rotar debido a la presión del viento hacen girar un eje, que gracias a un generador transforman ese movimiento rotacional con energía mecánica en energía eléctrica.

1.2. Rendimiento

El rendimiento máxima teórico de una turbina eólica es del 59%, éste es el límite de Betz; en la práctica han de considerarse además otros factores que rebajan aún más el rendimiento de la hélice como son: la resistencia aerodinámica de las palas, la pérdida de energía debido al desprendimiento de la capa límite, la compresibilidad del aire, las interferencias de las palas.

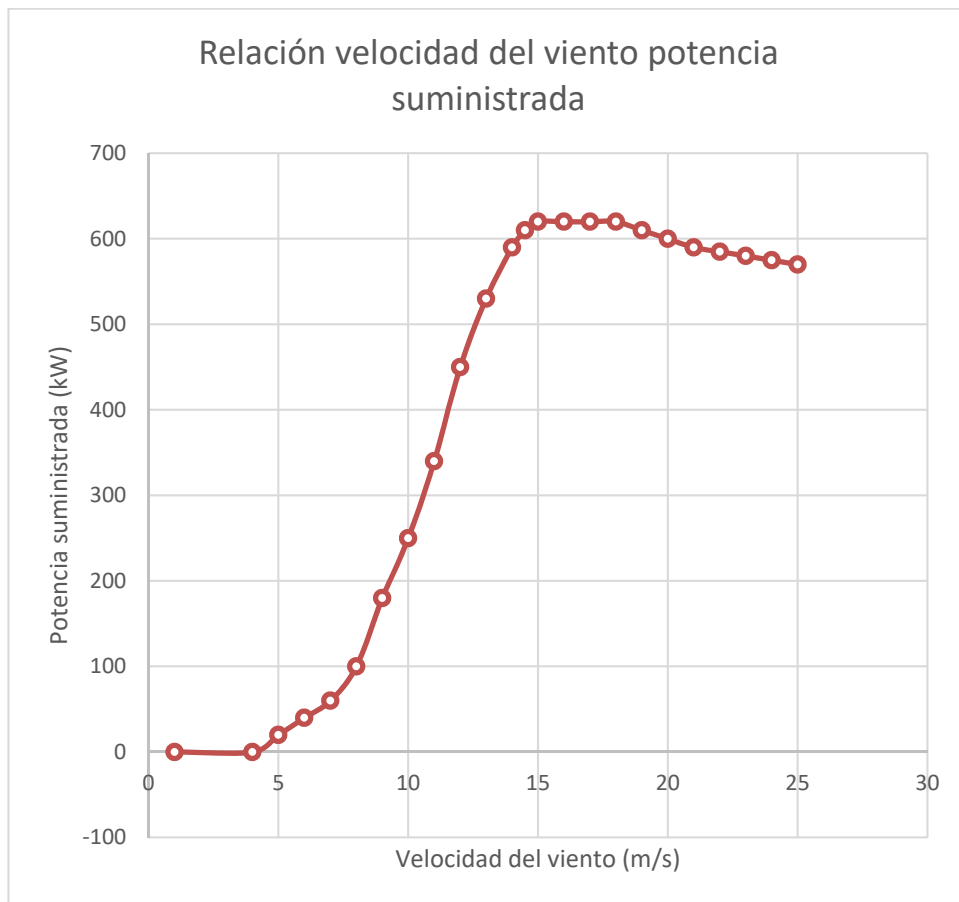
No sólo eso, los componentes mecánicos tampoco tiene un rendimiento del 100% lo que aumenta pérdidas, como son

Rendimiento	(%)
Betz	59,3
Hélice	85
Multiplicador	98
Alternador	95
Transformador	98

Tabla 1.1. Rendimiento de la turbina y sus componentes mecánicos

Evaluando el cómputo global, restando las pérdidas debidas al efecto Betz, y las pérdidas de los componentes mecánicos, se obtiene un rendimiento global máximo de la instalación del orden del 46%.

Curva de potencia de un aerogenerador



Gráfica 1 Relación velocidad del viento potencia suministrada

1.3. Componentes

Hélice: formado por el buje y las palas

Buje: concentra las palas en un punto y se acopla al eje de baja velocidad.

Palas: transmiten la energía del viento al resto de la turbina, en un aerogenerador moderno de 1000 kW cada pala mide aproximadamente 30 m de largo, 21,27 y hasta 40 m, y un diseño aerodinámico muy parecido al del ala de un avión.

El material que se usa para fabricar las palas junto al revestimiento de la góndola es el plástico reforzado con fibra de vidrio, conocido por sus siglas como PRFV, un poliéster con resina epoxy, se puede emplear como material de refuerzo la fibra de carbono

Góndola: reúne todos los componentes necesarios de una turbina eólica, dentro de la góndola caben 2 operarios y el espacio necesario para realizar cualquier tipo de reparación o mantenimiento.

La góndola, para proteger su interior debe ser estanca frente al polvo el agua.

Eje de baja velocidad: conecta el buje del rotor al multiplicador, girando de 20 a 30 rpm, además de contener conductos del sistema hidráulico que activan los frenos.

Eje de alta velocidad: para activar el generador eléctrico este eje gira a 1500 rpm, tiene un freno mecánico de emergencia o de mantenimiento.

Rotor: elemento dinámico que permite redistribuir la corriente eléctrica al estator mediante el giro.

Frenos: mediante un sistema de freno hidráulico evita velocidades excesivas del rotor que quemarían el generador.

Multiplicador: aumenta la frecuencia del eje desde baja velocidad hasta alta velocidad, aumentando la rotación x 50, realiza la función de caja de cambios.

Generador: es un generador eléctrico asíncrono o de inducción con potencias máxima de entre 500 y 3000 kW.

Controlador Electrónico: circuitos electrónicos para la monitorización en continuo de las condiciones de trabajo del aerogenerador, en caso de emergencia está conectado telefónicamente a través de un módem para dar la señal de alarma.

Mecanismo de orientación: a través del controlador electrónico orienta al aerogenerador en una dirección concreta.

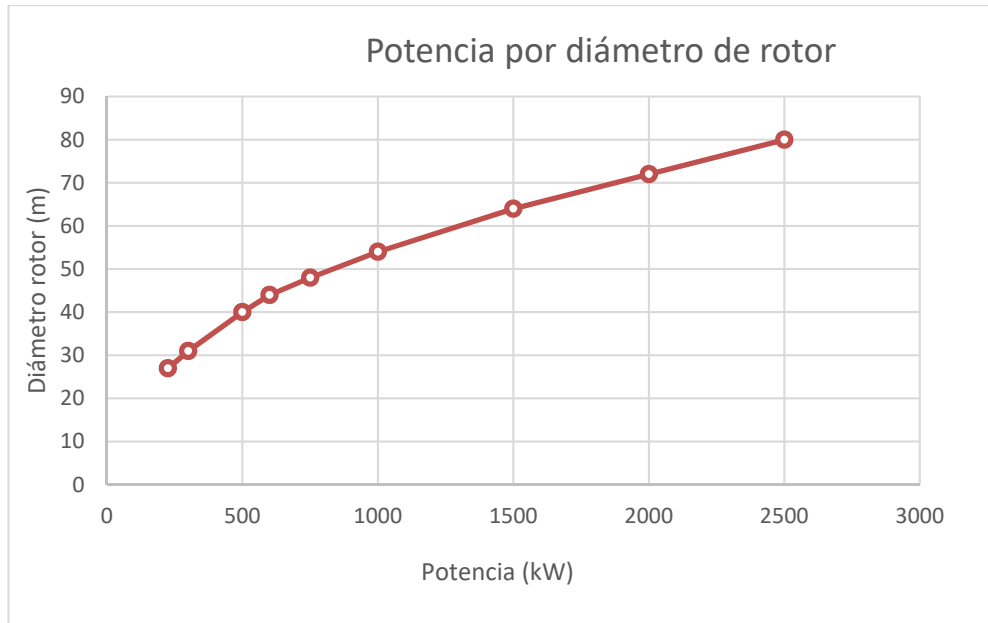
Sistema hidráulico: para activar o desactivar los frenos aerodinámicos.

Ventilación: es una unidad de refrigeración que contiene un ventilador eléctrico que se utiliza para enfriar el generador eléctrico

Anemómetro y veleta: se usan para medir la velocidad y dirección del viento

1.4. Tamaño de Turbinas

Diámetro de los rotores



Gráfica 2 Potencia por diámetro de un rotor

Las turbinas de gran potencia se usan en zonas geográficas con vientos muy fuertes, ya que serán necesario una mayor velocidad del viento para alcanzar la potencia necesaria de arranque y ponerlas así en funcionamiento, en las turbinas existe una cierta economía de escala, es decir, cuanto mayor sea el aerogenerador, se amortiza más rápidamente la producción de energía eléctrica kW/h, pero por el contrario también son más caros los equipos de producción eléctrica, para ello los productores eligen el tamaño óptimo en función de la zona en la que se situarán los aerogeneradores.

1.5. Seguridad

Sensores
Palas de rotor
Protección frente al embalamiento
Sistema de freno aerodinámico
Sistema de freno mecánico
Torres

Todos los componentes de un aerogenerador se diseñan para una vida útil de un mínimo de 20 años, esto equivale a 120000 horas de funcionamiento y con condiciones climáticas adversas. Algunos de los dispositivos que garantizan la seguridad de la instalación son:

1.5.1. Sensores

En una turbina eólica existen multitud de sensores que permiten evaluar el rendimiento electromecánico de la turbina incluso en tiempo real para ello emplea algunos como sensor de vibraciones, termómetros electrónicos para controlar la temperatura del aceite en la caja de cambios o la temperatura del generador.

1.5.2. Palas de rotor

Antes del comisionado las palas se ensayan estáticamente para medir tensiones, deformaciones a flexión, y también se ensayan dinámicamente ante fallos por fatiga.

1.5.3. Protección frente al embalamiento

Para evitar el descontrol del rotor embalado, en caso de alguna posible disfuncionalidad de cualquier componente imprescindible, como por ejemplo en caso de que se sobrecaliente el generador ha de frenarse el rotor inmediatamente o en caso contrario se acelerará rápidamente. Para ello se implantan 2 mecanismos de freno independientes que permitan detener la turbina.

1.5.4. Sistema de freno aerodinámico

El sistema de frenado primario de la mayoría de aerogeneradores modernos es el de frenado aerodinámico, este consiste en girar el rotor y sus palas 90° alrededor del eje longitudinal a través de resortes y con solo un par de vuelta; se activa automáticamente si el sistema hidráulico pierde presión, de forma que la fuerza del viento no genere potencia.

1.5.6. Sistema de freno mecánico

El freno mecánico se utiliza como suplemento al freno aerodinámico, cuando la turbina ya está parada se acciona éste.

1.5.7. Torres

Los grandes aerogeneradores modernos suelen usar torres tubulares tronco-cónicas de láminas acero. La principal ventaja de esta torre sobre una torre de estructura en celosía es que hace más seguro y fácil el acceso de los trabajadores a la góndola.

El principal peligro de trabajar en aerogeneradores es la propia altura sobre el suelo, los operarios que realizan labores de mantenimiento o instalación llevan correas sujetas mediante cables de acero a un sistema de anclaje seguidor del operario.

1.6. Generadores

- Voltaje generado (Tensión)
- Sistema de refrigeración
- Arranque y parada del generador
- Generador síncrono
- Generadores asíncronos
- Rotor de jaula
- Funcionamiento como motor
- Requerimientos de conexión a la red
- Cambio de Numero de polos
- Generador de número de polos variables, dos velocidades.
- Generadores de deslizamiento variable para turbinas eólicas
- Funcionamiento a velocidad variable de una turbina de regulación por cambio del ángulo de paso
- Mejora de la calidad de potencia
- Generación de Corriente Alterna (CA) a frecuencia variable
- Conversión a corriente alterna (CA) de frecuencia fija
- Conversión a corriente Continua (CC)
- Filtrado de la Corriente Alterna
- Ventajas de la conexión indirecta a red: velocidad variable
- Desventajas de a conexión indirecta a red

El aerogenerador convierte la energía mecánica en eléctrica, el aerogenerador debe trabajar con el rotor de la turbina eólica que suministra una potencia muy variable ya que el momento torsor que aplica cambia constantemente.

1.6.1. Voltaje generado (Tensión)

En grandes aerogeneradores (de entre 1000 y 2500 kW) el voltaje o tensión que la turbina genera es de 690 V de corriente alterna trifásica (AC); esta corriente se envía a través de un transformador anexo a la turbina (o incluso dentro de la góndola) para aumentar su voltaje a valores entre 10000 y 30000 V en función del estándar de la red eléctrica local.

1.6.2. Sistema de refrigeración

La temperatura de funcionamiento de un generador eléctrico es de en torno a los 50 °C, si no tuviera refrigeración el generador alcanzaría rápidamente los 200°C quemando los circuitos eléctricos, y dejando fuera de servicio la turbina completa, por ello los generadores precisan de refrigeración para su funcionamiento, esta refrigeración se lleva a cabo mediante el encapsulamiento del generador por dentro de un conducto haciendo uso de un gran ventilador para la refrigeración ya sea mediante aire o agua, la diferencia entre refrigeración mediante agua o

aire es básicamente que la refrigeración líquida necesita de un radiador en la góndola que disipe el calor.

1.6.3. Arranque y parada del generador

Si se conecta o bien se desconecta un gran generador de turbina eólica a la red pulsando un interruptor de corriente lo más seguro es que dañe el propio generador, el multiplicador e incluso las redes eléctricas contiguas.

1.6.4. Opciones de diseño en generadores y conexión a red

Las turbinas eléctricas pueden ser diseñadas tanto con generadores síncronos como asíncronos, y con varias formas de conexión directa o conexión indirecta a red del generador. La conexión directa a red significa que el generador está conectado directamente a la red de corriente alterna, normalmente trifásica.

La conexión indirecta a red significa que la corriente que viene de la turbina pasa a través de una serie de dispositivos eléctricos que ajustan la corriente para igualarla a la de la red. En generadores asíncronos, esto ocurre de forma automática.

1.6.5. Generador síncrono

Los generadores trifásicos usan un campo magnético rotatorio. Se secuencian 3 electroimanes separados entre ellos 120° formando un círculo, a esto se le denomina estator del motor, ya que permanece estático, en el centro y dando vueltas se encuentra el imán conocido por rotor.

Al girar el imán produce electricidad a la red, siendo la producción de electricidad proporcional al par torsor aplicado.

Los generadores síncronos no se utilizan mucho ya que los imanes se desmagnetizan con el tiempo, y estos imanes son muy caros.

En turbinas eólicas que usan este tipo de generadores usan imanes en el rotor alimentados por corriente continua de la red eléctrica. Dado que la red suministra corriente alterna es necesario transformarla antes de enviarla a las bobinas enrolladas en los electroimanes del rotor.

La mayoría de turbinas eólicas usan generadores de 4 o 6 polos. La razón por la que se utilizan estos generadores de velocidad relativamente alta es por ahorrar en tamaño y en costes.

La fuerza máxima (par torsor) que un generador puede alcanzar depende del tamaño del rotor. Para una potencia de salida dada, se puede elegir entre un gran generador (y, por lo tanto, caro) de baja velocidad, o un generador más pequeño (más barato) de alta velocidad.

Número de polos	50 Hz	60 Hz
2	3000	3600
4	1500	1800
6	1000	1200
8	750	900

10	600	720
12	500	600

Tabla 2 Potencia generada en función del número de polos y la frecuencia de giro

1.6.6. Generadores asíncronos

La mayoría de turbinas eólicas del mundo usan un generador asíncrono trifásico, de jaula bobinada, también conocido como generador de inducción, para producir corriente alterna

Curiosidad: en la industria los generadores asíncronos se emplean de forma inversa, consumen electricidad para producir algún movimiento rotacional o traslacional.

1.6.7. Rotor de jaula

Es el rotor el que hace diferente al generador síncrono del asíncrono. El rotor consta de un cierto número de barras de cobre o de aluminio conectadas eléctricamente por anillos de aluminio.

El rotor se coloca en el centro del estator.

1.6.8. Funcionamiento como motor

Cuando se conecte a la corriente, el generador comenzará a trabajar como motor, girando a un velocidad ligeramente inferior a la velocidad síncrona del campo magnético del estator, produciendo un campo magnético que se mueve respecto al rotor induciendo una corriente elevada en las barras del rotor que apenas ofrecen resistencia pues están cortocircuitadas por los anillos finales.

El rotor desarrolla sus propios polos magnéticos, que se ven, por turnos, arrastrados por el campo magnético giratorio del estator.

1.6.9. Funcionamiento como generador

Para poder inducir corriente en el rotor es necesario superar la velocidad síncrona del generador para poder conseguir que el rotor gire por debajo de la velocidad angular del campo magnético, y cuanto mayor sea esa diferencia se inducirá más corriente en el rotor, la potencia transferida al estator es en forma de fuerza electromagnética es proporcional a la velocidad de giro del rotor.

El rotor de jaula se adapta modificando el número de polos del estator de forma automática, un mismo rotor puede ser utilizado con una gran variedad de números de polos.

1.6.10. Requerimientos de conexión a la red

En un generador asíncrono a diferencia del generador síncrono necesita conexión a la red pública, ya que precisa que el estator esté magnetizado o por la red antes de funcionar.

Otra opción alternativa es colocar condensadores que suministren la corriente magnetizante necesaria. También hace falta que haya remanencia de hierro en el rotor, un magnetismo restante al ponerse en funcionamiento la turbina, si no, necesitará de una batería y electrónica de potencia, o un generador diésel para arrancar todo el sistema.

1.6.11. Cambio de Numero de polos

Los generadores y motores están fabricados con un gran número de imanes de estator para minimizar el entrehierro que hay entre el rotor y el estator, y también para mejorar la refrigeración de los imanes. El hierro del estator consta de un gran número de finas (0.5 mm) de láminas de acero aisladas, que se concentran para formar el hierro del estator. Esta disposición en capas se realiza para evitar que las corrientes parásitas dentro del hierro del estator disminuyan la eficiencia del generador.

Para reducir el problema de aumentar el número de polos a un generador asíncrono de jaula bobinada se conectan de distinta forma a los imanes vecinos: o bien se conecta un grupo de imanes a la misma fase según gira en torno al estator, o bien se cambia a la siguiente fase cada vez que se alcanza un nuevo imán.

1.6.12. Generador de número de polos variables, dos velocidades.

Ciertos fabricantes equipan a las turbinas con dos generadores uno pequeño para vientos suaves y un segundo para vientos fuertes.

El diseño más moderno es un generador de número de polos variable, en los que en función de cómo estén conectados los imanes de estator, puede funcionar con diferente número de polos, y por tanto, a distinta velocidad de rotación.

Algunos generadores se fabrican por encargo como dos en uno, que son capaces de funcionar como un generador de 400 kW o como uno de 2000 kW, y a 2 velocidades diferentes.

Sin embargo, una buena razón para utilizar un sistema de generador doble es que puede hacer funcionar su turbina a más baja velocidad de rotación a bajas velocidades de viento. Esto supone a la vez una mayor eficiencia aerodinámica, y un menor ruido.

1.6.13. Generadores de deslizamiento variable para turbinas eólicas

Previamente, los fabricantes de motores eléctricos se enfrentaban al problema de que sus motores solo podían girar a velocidades casi fijas en función del número de polo del motor.

El deslizamiento del motor o generador en una máquina asíncrona (de inducción) suele ser muy pequeño por cuestiones de eficiencia, por lo que la velocidad de giro variará alrededor de un 1% entre el régimen en vacío y a plena carga.

Sin embargo, el deslizamiento es función de la resistencia (medida en ohmios) de los devanados del rotor del generador. A mayor resistencia, mayor deslizamiento. Por lo que una de las formas de variar el deslizamiento es variar la resistencia del rotor. De esta forma puede aumentarse el deslizamiento del rotor hasta un 10%.

En motores, esto suele hacerse mediante un rotor bobinado, es decir, un rotor con cables de cobre arrollados conectados en estrella, y conectados a resistencias variables externas, además de un sistema de control electrónico para operar las resistencias. La conexión suele hacerse con escobillas y anillos rodantes, lo que supone un claro inconveniente respecto al diseño técnico elegante y simple de una máquina de rotor de jaula bobinada. También introduce partes que se desgastan en el generador, por lo que requiere un mantenimiento adicional.

Para evitar los problemas que introducen los anillos rodantes, las escobillas, las resistencias externas y, a su vez, el mantenimiento.

Se montan las resistencias externas en el propio rotor, así como el sistema electrónico, todavía le queda el problema de cómo comunicarle al rotor la cantidad de deslizamiento que necesita. Sin embargo, esta comunicación puede hacerse de forma muy elegante, usando comunicaciones de fibra óptica, y enviando la señal a través de la electrónica del rotor cada vez que pasa por una fibra óptica fija.

1.6.14. Funcionamiento a velocidad variable de una turbina de regulación por cambio del ángulo de paso

Una de las razones por las que se desea hacer funcionar la turbina a velocidad variable es que el control del ángulo de paso (control de par torsor para evitar sobrecargas en la caja multiplicadora y en el generador, variando el ángulo de paso de las palas) es un proceso mecánico, lo cual significa que el tiempo de reacción del mecanismo de cambio es un factor crítico en el diseño de turbinas.

Sin embargo, si se tiene un generador de deslizamiento variable, se puede empezar a aumentar el deslizamiento una vez se esté cerca de la potencia nominal de la turbina. La estrategia de control aplicada en un diseño ampliamente utilizado en turbinas es la de hacer funcionar el generador a la mitad de su deslizamiento máximo cuando la turbina esté funcionando cerca de su potencia nominal. Cuando sopla una ráfaga de viento, las señales del mecanismo de control hacen que el deslizamiento aumente para permitir que el rotor gire un poco más rápido hasta que el mecanismo de cambio del paso ha hecho su trabajo, el deslizamiento vuelve a disminuir. En caso de que el viento caiga repentinamente, el mecanismo aplicado es el inverso. Aunque estos conceptos puedan parecer simples, asegurar que los dos mecanismos de control cooperen de forma eficiente es todo un reto técnico.

1.6.15. Mejora de la calidad de potencia

Hacer funcionar un generador con un alto deslizamiento produce más calor, lo hace que el generador trabaje menos eficientemente. Sin embargo, esto no constituye un problema en sí mismo, ya que la única alternativa es gastar el exceso de energía orientando las palas del rotor fuera del viento, al cambiar el ángulo de paso.

Una de las muchas ventajas de utilizar la estrategia de control que aquí se menciona es la obtención de una mejor calidad de potencia, dado que las fluctuaciones en la potencia de salida son absorbidas o compensadas variando el deslizamiento del generador, y almacenando o liberando parte de la energía en forma de energía rotacional en el rotor de la turbina eólica.

1.6.16. Generación de Corriente Alterna (CA) a frecuencia variable

Para conseguir que el generador gire a velocidad variable se conecta a la red con una conexión indirecta, así el generador de la turbina eólica funciona en su propia mini-red separada de corriente alterna, esta red se controla electrónicamente usando un inversor, por lo que puede variarse la frecuencia de la CA en el estator del generador. Así se puede hacer funcionar la turbina a una velocidad de giro variable. Permitiendo generar CA a la frecuencia variable exacta aplicada al estator.

1.6.17. Conversión a corriente alterna (CA) de frecuencia fija

Posteriormente convertimos la CC, fluctuante, a CA, haciendo uso de un inversor, de exactamente de la misma frecuencia que la de la red eléctrica pública. Esta conversión de CA en el inversor también puede hacerse utilizando tiristores o transistores.

Los tiristores o transistores de potencia son grandes interruptores de material semiconductor que funcionan sin partes mecánicas. A primera vista, la clase de corriente alterna que se obtiene de un inversor tiene un aspecto bastante abrupto y con ruido. En lugar de eso, lo que se tiene es una serie de saltos bruscos en la tensión y en la corriente alterna.

1.6.18. Conversión a corriente Continua (CC)

La corriente alterna de frecuencia variable no puede ser tratada en la red eléctrica pública. Debemos, por tanto, rectificarla, convertirla en corriente continua (CC). La conversión de corriente alterna de frecuencia variable a

corriente continua puede hacerse utilizando tiristores o grandes transistores de potencia.

1.6.19. Filtrado de la Corriente Alterna

Las formas de onda rectangulares pueden ser suavizadas utilizando las inductancias y condensadores apropiados, en lo que se da en llamar filtro. Sin embargo, la apariencia más o menos picuda de la tensión no desaparece del todo.

1.6.20. Ventajas de la conexión indirecta a red: velocidad variable

La ventaja de la conexión indirecta a red es que permite hacer funcionar la turbina eólica a velocidad variable.

La principal ventaja es que permite que el rotor gire más rápidamente durante ráfagas de viento y almacenar así parte del exceso de energía en forma de energía rotacional hasta que esa ráfaga haya terminado. Obviamente, esto requiere de una estrategia de control inteligente, pues debemos ser capaces de distinguir entre ráfaga y altas velocidades de viento en general. De esta forma es posible reducir el par torsor máximo (reduciendo así el deterioro del multiplicador y del generador), así como las cargas de fatiga en la torre y en las palas del rotor.

La ventaja secundaria es que con la electrónica de potencia se puede controlar la potencia reactiva (es decir, el desfase de la corriente respecto a la tensión en la red de CA), y así mejorar la calidad de potencia de la red eléctrica esto puede ser especialmente útil en turbinas que funcionan en una red eléctrica débil. Teóricamente, la velocidad variable también supone una ligera ventaja en términos de producción anual, puesto que permite hacer funcionar una máquina a la velocidad óptima de giro, dependiendo de la velocidad del viento. Sin embargo, desde el punto de vista económico la ventaja es tan pequeña que apenas merece la pena mencionarlo.

1.6.21. Desventajas de la conexión indirecta a red

La desventaja básica de la conexión indirecta a red es el coste; la turbina necesitará un rectificador y dos inversores, uno para controlar la corriente del estator, y el otro para generar la corriente de salida. Actualmente, parece ser que el coste de la electrónica de potencia excede a los beneficios que reporta el hecho de construir turbinas más ligeras.

Otras desventajas son la pérdida de energía en el proceso de conversión CA-CC-CA, y el hecho de que la electrónica de potencia puede introducir distorsión armónica de la corriente alterna en la red eléctrica y, por tanto, reducir la calidad de potencia.

La distorsión armónica se produce porque el proceso de filtrado mencionado arriba no es perfecto, y puede dejar algunos "tonos agudos" (múltiplos de la frecuencia de la red) en la corriente de salida.

1.7. Cajas Multiplicadoras en Aerogeneradores

La potencia de rotación del rotor de la turbina eólica es transferida al generador a través del tren de potencia, es decir, a través del eje principal, la caja multiplicadora y el eje de alta velocidad, como vimos en la página con los componentes de un aerogenerador.

La caja multiplicadora es necesaria ya que en caso de no tenerla, con un generador ordinario directamente conectado a una red trifásica de CA girando solo a 50 Hz, ya sea con 2, 4 o 6 polos deberíamos tener una turbina de velocidad extremadamente alta, de entre 1000 y 3000 rpm con un rotor de 43 m de diámetro, esto equivale a una velocidad lineal en el punto extremo del rotor 2 veces mayor a la velocidad del sonido, otra imposible opción es la de aumentar el número de polo, incluir 200 polos, que son 300 imanes para conseguir una velocidad de rotación de 30 rpm.

1.7.1. Relación Torsor Velocidad

La solución práctica es la de utilizar un multiplicador, que hace la conversión entre la potencia de alto par torsor, que obtiene del rotor de la turbina eólica girando lentamente, y la potencia de bajo par torsor, a alta velocidad, que se usa en el generador.

La caja multiplicadora de la turbina eólica no cambia las velocidades. Normalmente, suele tener una única relación de multiplicación entre la rotación del rotor y el generador. Para una máquina de 600 o 750 kW, la relación de multiplicación suele ser aproximadamente de 1:50.

1.7.2. Accionamiento Directo

Quienes se dedican a la manufactura de turbinas eólicas han investigado la manera de conseguir que el accionamiento directo sea competitivo en precio frente a las cajas multiplicadoras, ya que el diseño de la tecnología de accionamiento directo es menos complejo, siendo más fácil de operar y con un mantenimiento más reducido, se usan especialmente en turbinas offshore, sin embargo, el estigma de un mayor precio, y un mayor peso y volumen lo descarte en muchas ocasiones.

Investigaciones, innovaciones en los imanes y los generadores de estas turbinas, han reducido su precio y peso. Siendo una opción que está en permanente aumento. Es cada vez más la opción más escogida para turbinas offshore de 6 MW

Las diferencias mecánicas y de operación del accionamiento directo frente a las cajas multiplicadoras, es que la caja de cambios convierte la frecuencia del rotor de palas de entre 15 y 20 rpm hasta 1800 rpm para que un generador en turbinas de 1 MW genere electricidad.

Los engranajes del multiplicador sufre estrés mecánico debido a la fatiga, siendo la caja de cambios el componente que más mantenimiento precisa a lo largo de su vida útil, y en turbinas offshore que giran más rápidamente que las turbinas onshore son más vulnerables a esta fatiga.

Eliminando la caja de cambios de una turbina, se elimina la parte más complicada técnicamente de la turbina, mejorando la fiabilidad de la máquina.

La reducción de precios y de peso, viene dada por la reducción de precios en los imanes permanentes y las mejoras en el proceso ensamblaje. Pasando de un accionamiento directo por bobinas a imanes permanentes ha sido el cambio más significativo. Los imanes son más ligeros y necesitan de menos cables de cobre, reduciendo así los precios de manufacturación.

Por todo esto y más, las turbinas de accionamiento directo son cada vez más la opción más escogida para turbinas offshore de 6 MW. Al mejorar las turbinas de accionamiento directo también fuerza a los fabricantes de cajas multiplicadoras a mejorar sus productos para darle más fiabilidad y aumentar su vida útil a más de 20 años.

1.8. Controlador electrónico de la turbina eólica

Comunicación exterior
 Comunicaciones internas
 Mecanismos de autoprotección y redundancia
 Monitorización
 Estrategias de control
 Control de la calidad de potencia en aerogeneradores
 Conexión a la red y calidad de potencia
 Control de la potencia reactiva
 Compatibilidad electromagnética, EMC.

El controlador de la turbina eólica consta de varios ordenadores que continuamente supervisan las condiciones de la turbina eólica y estas recogen estadísticas de su funcionamiento. El controlador también controla un importante número de interruptores, bombas hidráulicas, válvulas y motores dentro de la turbina.

Cuando el tamaño de una turbina crece hasta máquinas de megavatios, se hace incluso más importante que su tasa de disponibilidad sea alta, es decir, que funcionen de forma segura todo el tiempo.

1.8.1. Comunicación exterior

El controlador se comunica con el propietario o el operador de la turbina eólica mediante un enlace de comunicación, como por ejemplo, enviando alarmas o solicitudes de servicio a través del teléfono o de un enlace radiofónico, también es posible llamar a la turbina eólica para que recoja estadísticas, y revise su estado actual. En parques eólicos, una de las turbinas suele estar equipada con un ordenador, desde el que se puede controlar y recoger datos del resto de los aerogeneradores.

1.8.2. Comunicaciones internas

Normalmente, suele haber un controlador en la parte inferior de la torre y otro en la góndola. En los modelos recientes de aerogeneradores, la comunicación entre controladores suele hacerse utilizando fibra óptica.

En modelos más recientes, se coloca un tercer controlador situado en el buje del rotor, esta unidad se comunica con la góndola utilizando comunicaciones en serie, a través de un cable conectado con anillos rodantes y escobillas al eje principal.

1.8.3. Mecanismos de autoprotección y redundancia

Los ordenadores y sensores suelen estar por duplicado en todas las áreas de precisión, de seguridad o de servicio, de las máquinas grandes más nuevas. El controlador compara continuamente las lecturas de las medidas en toda la turbina eólica, para asegurar que tanto los sensores como los propios ordenadores funcionan correctamente.

1.8.4. Monitorización

Es posible monitorizar o fijar alrededor de entre 100 y 500 valores de parámetros en una turbina eólica moderna. Por ejemplo, el controlador puede contrastar la velocidad de rotación del rotor, el generador, su voltaje y corriente. Además, los rayos y su carga pueden ser registrados. También pueden realizarse medidas de la temperatura del aire exterior, la temperatura en los armarios electrónicos, la temperatura del aceite en el multiplicador, la temperatura de los devanados del generador, la temperatura de los cojinetes del multiplicador, la presión hidráulica, el ángulo de paso de cada pala del rotor (en máquinas de regulación por cambio del ángulo

de paso -pitch controlled- o de regulación activa por pérdida aerodinámica -active stall controlled-), el ángulo de orientación (contando el número de dientes en la corona de orientación), el número de vueltas en los cables de alimentación, la dirección del viento, la velocidad del viento del anemómetro, el tamaño y la frecuencia de las vibraciones en la góndola y en las palas del rotor, el espesor de las zapatas del freno, si la puerta de la torre está abierta o cerrada (sistema de alarma).

1.8.5. Estrategias de control

Muchos de los secretos de empresa de los fabricantes de aerogeneradores se encuentran en la forma en que el controlador interacciona con los componentes de la turbina eólica. Las mejores estrategias de control son responsables de una parte importante del crecimiento de la productividad de los aerogeneradores en los últimos años.

Una estrategia interesante seguida por algunos fabricantes es la de adaptar la estrategia operacional al clima eólico local. De esta forma, puede ser posible, por ejemplo, minimizar el desgaste y la rotura de la máquina durante los periodos de tormenta.

1.8.6. Control de la calidad de potencia en aerogeneradores

El control no solo hace funcionar la turbina o la conecta a la red, sino que supervisa que la calidad sea óptima.

1.8.7. Conexión a la red y calidad de potencia

Las compañías eléctricas exigen que la conexión a la red de los generadores se realice suavemente, y que requisitos tienen respecto a la corriente alterna y la tensión para que se muevan de forma sincronizada la una respecto a la otra.

1.8.8. Control de la potencia reactiva

Por definición, la intensidad de corriente y la tensión se miden 128 veces por ciclo de corriente alterna (es decir, 50x128 veces por segundo o 60x128 veces por segundo, dependiendo de la frecuencia de la red eléctrica). Partiendo de esto, un procesador DSP calcula la estabilidad de la frecuencia de la red, así como la potencia activa y reactiva de la turbina, la componente reactiva de la potencia es básicamente una cuestión de si la tensión y la corriente están o no en fase.

Para asegurar que la calidad de potencia sea adecuada, el controlador debe conectar y desconectar un gran número de condensadores eléctricos, que ajustarán la potencia reactiva, es decir, el ángulo de fase entre la tensión y la corriente.

1.8.9. Compatibilidad electromagnética, EMC.

En una turbina eólica, alrededor de los cables para transporte de energía y de los generadores, hay campos electromagnéticos muy potentes. Esto implica que la electrónica del sistema de control tiene que ser insensible a estos campos electromagnéticos.

Y a la inversa, la electrónica no debería emitir radiación electromagnética que pueda inhibir el funcionamiento de otros equipos electrónicos.

1.9. Diseño de Turbinas

Diseño de Aerogeneradores: consideraciones básicas de carga

Cargas Extremas (fuerzas y momentos)

Cargas de Fatiga

Aerogeneradores, de eje horizontal o vertical.

Aerogeneradores de eje vertical

Rotor

A barlovento

A sotavento

1.9.1. Diseño de Aerogeneradores: consideraciones básicas de carga

Para poder construir aerogeneradores, debe tenerse en cuenta tanto la resistencia, el comportamiento dinámico y ante fatiga de los materiales y del conjunto en general.

1.9.2. Cargas Extremas (fuerzas y momentos)

Los aerogeneradores están contruidos para atrapar la energía cinética del viento. Para soportar vientos huracanados los fabricantes de turbinas se decantan por construir turbinas con pocas palas, largas y estrechas, y así certificar las turbinas para que 1 vez cada 50 años, pueda soportar un viento extremo de 10 minutos de duración.

Para compensar la estrechez de las palas de cara al viento, los fabricantes prefieren que las turbias giren muy rápido.

1.9.3. Cargas de Fatiga

Los aerogeneradores están sujetos a vientos fluctuantes, y por tanto, a fuerzas fluctuantes. Esto se da particularmente en el caso de estar emplazado en un clima eólico muy turbulento.

Los componentes sujetos a flexión repetida pueden desarrollar grietas, que en última instancia pueden provocar la rotura del componente.

La fatiga del metal es un problema bien conocido en muchas industrias. Así pues, generalmente el metal no se elige como material para las palas del rotor.

En el diseño de una turbina eólica, es muy importante calcular por anticipado como vibrarán los diferentes componentes, tanto individualmente como en conjunto. También es importante calcular las fuerzas que participan en cada flexión y estiramiento de un componente.

De esto se ocupa la dinámica estructural, donde los ingenieros han desarrollado modelos matemáticos de ordenador que analizan el comportamiento de toda la turbina eólica.

Estos modelos son utilizados por los fabricantes de turbinas para diseñar sus máquinas de forma segura.

1.9.4. Aerogeneradores, de eje horizontal o vertical.

Aerogeneradores de eje horizontal

Casi todo de la tecnología anteriormente descrita se refiere a los aerogeneradores de eje horizontal (conocidos por sus siglas en inglés como HAWTs, horizontal axis wind turbines).

Ya que todos los aerogeneradores comerciales conectados a la red se construyen con un rotor tipo hélice de eje horizontal.

1.9.5. Aerogeneradores de eje vertical

La única turbina de eje vertical que ha sido comercialmente fabricada a todos los volúmenes es la máquina Darrieus.

Las principales ventajas teóricas de una máquina de eje vertical son:

- 1) Puede situar el generador, el multiplicador, etc. en el suelo, y puede no tener que necesitar una torre para la máquina.
- 2) No necesita un mecanismo de orientación para girar el rotor en contra del viento.

Las principales desventajas son:

- 1) Las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas, por lo que a pesar de que puede ahorrarse la torre, sus velocidades de viento serán muy bajas en la parte más inferior de su rotor.
- 2) La eficiencia promedio de las máquinas de eje vertical no es impresionante.
- 3) La máquina no es de arranque automático (es decir, una máquina Darrieus necesitará un "empuje" antes de arrancar. Sin embargo, esto es sólo un inconveniente sin importancia, ya que puede utilizar el generador como motor absorbiendo corriente de red para arrancar la máquina).
- 4) La máquina puede necesitar cables tensores que la sujeten, aunque esta solución no es practicable en áreas muy cultivadas.
- 5) Para sustituir el cojinete principal del rotor se necesita desmontar el rotor, tanto en las máquinas de eje horizontal como en las de eje vertical. En el caso de las últimas, esto implica que toda la máquina deberá ser desmontada.

1.10. Rotor

1.10.1. A barlovento

Las máquinas con rotor a barlovento tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre. La gran mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño. Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente.

El principal inconveniente de los diseños a barlovento es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre (como muchos fabricantes han averiguado de su coste). Además, una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

1.10.2. A sotavento

Las máquinas con rotor a sotavento tienen el rotor situado en la cara a sotavento de la torre. La ventaja teórica que tienen es que pueden ser construidos sin un mecanismo de orientación, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado que hace que la góndola siga al viento pasivamente. Sin embargo, en grandes máquinas ésta es una ventaja algo dudosa, pues se necesitan cables para conducir la corriente fuera del generador.

Una ventaja más importante es que el rotor puede hacerse más flexible. Esto supone una ventaja tanto en cuestión de peso como de dinámica estructural de la máquina, es decir, las palas se curvarán a altas velocidades del viento, con lo que le quitarán parte de la carga a la torre.

El inconveniente principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga en la turbina que con un diseño corriente arriba.

1.11. Palas

Aerogeneradores, número de palas
Concepto bipala (oscilante/basculante)
Concepto monopala

1.11.1. Aerogeneradores, número de palas

Los ingenieros de modernos aerogeneradores evitan construir grandes máquinas con un número par de palas. La razón más importante es la estabilidad de la turbina. Un rotor con un número impar de palas (y como mínimo tres palas) puede ser considerado como un disco a la hora de calcular las propiedades dinámicas de la máquina.

Un rotor con un número par de palas puede dar problemas de estabilidad en una máquina que tenga una estructura rígida. La razón es que en el preciso instante en que la pala más alta se flexiona hacia atrás, debido a que obtiene la máxima potencia del viento, la pala más baja pasa por la sombra del viento de enfrente de la torre.

La mayoría de aerogeneradores modernos tienen diseños tripala, con el rotor a barlovento (en la cara de la torre que da al viento), usando motores eléctricos en su mecanismo de orientación. A este diseño se le suele llamar el clásico "concepto danés", y tiende a imponerse como estándar al resto de conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser.

1.11.2. Concepto bipala (oscilante/basculante)

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por su puesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual. Últimamente, varios fabricantes tradicionales de máquinas bipala han cambiado a diseños tripala.

Las máquinas bi y monopala requieren de un diseño más complejo, con un rotor basculante (buje oscilante), es decir, el rotor tiene que ser capaz de inclinarse, con el fin de evitar fuertes sacudidas en la turbina cada vez que una de las palas pasa por la torre. Así pues el rotor está montado en el extremo de un eje perpendicular al eje principal, y que gira junto con el eje principal. Esta disposición puede necesitar de amortiguadores adicionales que eviten que las palas del rotor choquen contra la torre.

1.11.3. Concepto monopala

Sí, los aerogeneradores monopala existen, pero no están muy extendidos comercialmente, pues los inconvenientes de los bipala también son aplicables, e incluso en mayor medida, a las máquinas monopala.

Además de una mayor velocidad de giro, y de los problemas de ruido y de intrusión visual, necesitan un contrapeso en el lado del buje opuesto a la pala que equilibre el rotor. Obviamente, esto anula el ahorro de peso comparado con un diseño bipala.

1.12. Optimización

Optimización y economía
Generador y tamaño del rotor
Alturas de la torre

1.12.1. Optimización y economía

El diseño de un aerogenerador no está sólo determinado por la tecnología, sino por una combinación de tecnología y economía: los fabricantes de aerogeneradores quieren optimizar sus máquinas para producir la electricidad al menor coste posible por kilovatio-hora (kWh) de energía.

Aunque los fabricantes no se preocupan demasiado de si están utilizando los recursos eólicos de forma eficiente: a fin de cuentas el combustible es gratis.

No es necesariamente una buena idea maximizar la producción anual de energía, si esto implica que se tiene que construir un aerogenerador muy caro.

Algunas de las decisiones que los fabricantes deben tomar son:

1.12.2. Generador y tamaño del rotor

Un generador pequeño (es decir, un generador con una baja potencia de salida nominal en kW) requiere menos fuerza para hacerlo girar que uno grande. Si se acopla un gran rotor a un generador pequeño, se estará produciendo electricidad durante una gran cantidad de horas al año, pero sólo se capturará una pequeña parte del contenido energético del viento a altas velocidades de viento.

Por otro lado, un generador grande será muy eficiente a altas velocidades de viento, pero incapaz de girar a bajas velocidades.

Así pues, los fabricantes mirarán la distribución de velocidades de viento y el contenido energético del viento a diferentes velocidades para determinar cuál será la combinación ideal de tamaño de rotor y de tamaño de generador en los diferentes emplazamientos de aerogeneradores.

Adaptar una turbina con dos (o más) generadores puede ser ventajoso en algunas ocasiones, aunque si vale o no la pena depende realmente del precio de la electricidad.

1.12.3. Alturas de la torre

En general las torres más altas aumentan la producción de energía de un aerogenerador.

Una vez más, discernir si vale o no la pena el coste adicional que supone una torre más alta depende tanto de la clase de rugosidad como del coste de la electricidad.

1.13. Ruidos

- Diseño para reducir ruido mecánico en aerogeneradores
 - Fuentes mecánicas de emisión sonora
 - Multiplicadores de aerogeneradores silenciosos
 - Análisis de dinámica estructural
 - Aislamiento acústico
- Diseño para un bajo ruido aerodinámico en aerogeneradores
 - Fuentes aerodinámicas de emisión sonora
 - Emisión acústica de una pala y la ley de la quinta potencia
 - Diseño en punta de pala
 - Búsqueda de palas más silenciosas

1.13.1. Diseño para reducir ruido mecánico en aerogeneradores

Las emisiones sonoras en aerogeneradores pueden tener dos orígenes diferentes: el ruido mecánico y el ruido aerodinámico.

1.13.2. Fuentes mecánicas de emisión sonora

El ruido mecánico, es decir, componentes metálicos moviéndose o chocando unos contra otros, puede originarse en el multiplicador, en la transmisión (los ejes) y en el generador de una turbina eólica.

1.13.3. Multiplicadores de aerogeneradores silenciosos

Los multiplicadores de los aerogeneradores no son multiplicadores industriales estándar, sino que han sido específicamente adaptados para un funcionamiento silencioso en aerogeneradores. Una forma para conseguirlo es que los engranajes de acero del multiplicador tengan un núcleo flexible semiblando, aunque una superficie dura para asegurar resistencia y una larga duración frente al desgaste.

La manera de conseguirlo es básicamente calentando los engranajes después de que los dientes hayan sido rectificadas, y después se les deja enfriar lentamente mientras se rellenan de un polvo especial con un alto contenido en carbono. Luego el carbono migrará hacia la superficie del metal. Esto asegurará un alto contenido de carbono y una alta durabilidad en la superficie del metal, mientras que la aleación de acero del interior permanecerá más blanda y más flexible.

1.13.4. Análisis de dinámica estructural

Una consideración importante, que pertenece al proceso de diseño de la turbina, es el hecho de que las palas pueden actuar como membranas capaces de transmitir las vibraciones sonoras de la góndola y la torre.

Los fabricantes de turbinas desarrollan actualmente modelos informáticos de sus máquinas antes de construirlos, para asegurar que las vibraciones de los diferentes componentes no interaccionarán provocando resonancia y amplificando el ruido.

Al mirar el chasis de la estructura de la góndola en alguno de los grandes aerogeneradores que existen en el mercado se comprueban que hay algunos extraños agujeros practicados en él sin ninguna razón aparente. Estos agujeros han sido precisamente hechos para asegurar que la estructura no vibrará de forma sincrónica con el resto de componentes de la turbina.

1.13.5. Aislamiento acústico

Actualmente, el aislamiento acústico juega un papel secundario en la mayoría de aerogeneradores modernos que

existen en el mercado, aunque puede ser útil minimizar algunos de los ruidos a medias y altas frecuencias. Sin embargo, parece que es en general más eficiente atacar los problemas de ruido desde su fuente, en la propia estructura de la máquina.

1.13.6. Diseño para un bajo ruido aerodinámico en aerogeneradores

1.13.6.1. Fuentes aerodinámicas de emisión sonora

Cuando el viento choca contra diferentes objetos a una cierta velocidad, generalmente empezará a emitir un sonido. Si choca contra los arbustos o contra las hojas de los árboles, o contra la superficie del agua, creará una mezcla aleatoria de ruido de alta frecuencia, llamada a menudo ruido blanco.

El viento también puede inducir vibraciones en superficies, como ocurre a veces con partes de un edificio, un coche e, incluso, con un planeador (sin motor). Cada una de estas superficies emite su propio sonido. Si el viento choca contra un borde afilado, puede producir un tono puro, como el de los instrumentos musicales de viento.

1.13.6.2. Emisión acústica de una pala y la ley de la quinta potencia

Las palas del rotor producen un ligero sonido silbante que puede oírse si se está cerca de un aerogenerador a velocidades de viento relativamente bajas.

Las palas deben frenar el viento para transferir la energía al rotor. En este proceso producen algunas emisiones de ruido blanco. Si la superficie de la pala es muy lisa (que de hecho debe serlo por razones aerodinámicas), las superficies emitirán una pequeña parte del ruido. La mayor parte del ruido se originará en el borde de salida (posterior) de las palas. Un cuidadoso diseño de los bordes de salida y una cuidadosa manipulación de las palas durante su ensamblado, han llegado a ser una práctica habitual en la industria.

Sin variar el resto de parámetros, la presión sonora aumentará con la quinta potencia de la velocidad de la pala relativa al aire circundante. Así pues, observará que los modernos aerogeneradores con grandes diámetros del rotor tienen una velocidad de giro muy baja.

1.13.6.3. Diseño en punta de pala

Dado que las puntas de pala se mueven mucho más rápidamente que la base, se debe tener mucho cuidado en el diseño de la punta de la pala. Si mira de cerca las diferentes palas de rotor, descubrirá sutiles cambios en su geometría a lo largo del tiempo, ya que cada vez se están haciendo más investigaciones en ese campo.

Esta investigación también se hace por razones de rendimiento, ya que una gran parte del par torsor (momento de giro) del rotor proviene de la parte más exterior de las palas. Además, el flujo de aire alrededor de la punta de la pala es extremadamente complejo, comparado con el flujo de aire en el resto de la pala.

1.13.6.4. Búsqueda de palas más silenciosas

La búsqueda de palas más silenciosas continúa, pero como se dijo el ruido es un problema secundario la mayoría de los beneficios de esa investigación repercuten en un aumento de la velocidad de giro y en un aumento de la producción de energía, ya que en general el ruido no constituye un problema en sí mismo, dadas las distancias de las casas vecinas, etc.

1.14. Ensayos de palas de aerogeneradores

- Pruebas de fatiga en las palas
 - Ensayo a flexión periférica
 - Finalidad de los ensayos
- Materiales de las palas de rotor
 - Finalidad de los ensayos
 - Medición de deformaciones
 - Monitorización de los ensayos a fatiga
- Inspección con infrarrojos (Termografía)
 - Modos de vibración de las palas
- Ensayo estático de palas de rotor

1.14.1. Pruebas de fatiga en las palas

Ensayo a fatiga, se dobla cíclicamente en la dirección de flap durante 5 millones de ciclos completos.

1.14.2. Ensayo a flexión periférica

En ambos casos las palas son flexionadas utilizando un ciclo próximo a la frecuencia natural de la pala.

La frecuencia natural es la frecuencia con la que la pala oscilará de una parte a otra, si la empuja una vez en una determinada dirección y luego la suelta. Las frecuencias naturales son diferentes en la dirección de flap y en la dirección periférica: la pala tiende a ser mucho más rígida en la dirección periférica, por lo que tiene una frecuencia natural más alta para la flexión periférica.

Cada pala es puesta en movimiento por un motor eléctrico montado sobre la pala que balancea un peso hacia arriba y hacia abajo. Las cimentaciones que soportan el casquillo de la pala deben ser muy sólidas: la cimentación de un gran casquillo de pala se compone de 2.000 toneladas de hormigón.

1.14.3. Materiales de las palas de rotor

Las palas de rotor suelen construirse utilizando una matriz de mallas de fibra de vidrio impregnadas de un material como el poliéster ("GRP = Glass fibre reinforced polyester"). El poliéster es endurecido después de que ha impregnado la fibra de vidrio. El Epoxi puede ser utilizado en lugar de poliéster. De esta forma la matriz base puede estar fabricada, total o parcialmente, de fibra de carbono, que es un material con alta resistencia más ligero, aunque más caro. En grandes palas de rotor también están siendo utilizados materiales laminares madera-epoxy.

1.14.4. Finalidad de los ensayos

La finalidad de los ensayos en las palas de rotor es la de verificar que las laminaciones en la pala son seguras, es decir, que las capas de la pala no se separarán (de laminación). De la misma manera, los ensayos verifican que las fibras no se romperán bajo esfuerzos repetidos.

1.14.5. Medición de deformaciones

Galgas extensométricas (resistencias eléctricas planas pegadas a la superficie de la palas que están siendo ensayadas) se utilizan para medir de forma muy precisa la flexión y el alargamiento de las palas de rotor.

1.14.6. Monitorización de los ensayos a fatiga

Los resultados de las mediciones de las galgas extensométricas están siendo continuamente monitorizados en ordenadores. Las variaciones no lineales en la tendencia de flexión pueden revelar daños en la estructura de la pala.

1.14.7. Inspección con infrarrojos (Termografía)

Las cámaras de infrarrojos utilizan el principio de conductividad térmica para revelar un aumento de calor local en la pala. Esto puede indicar, bien un área con humedecimiento estructural, es decir, un área donde el diseñador de la pala ha dispuesto, de forma deliberada, fibras que convierten la energía de flexión en calor con el fin de estabilizar la pala, o bien puede indicar un área de de laminación o un área que se está moviendo hacia el punto de rotura de las fibras.

1.14.8. Modos de vibración de las palas

Desde hace tiempo el ensayo de palas también incluye una verificación de las diferentes formas modales de vibración de cada pala. Esto se consigue utilizando un tipo especial de equipamiento que excita vibraciones en la pala a diferentes frecuencias y en direcciones diferentes.

La razón por la que los fabricantes de aerogeneradores se muestran interesados en el estudio y verificación de las diversas formas de frecuencias de vibración en las palas de rotor, es que deben asegurarse de que la turbina sobre la que van a ser montadas las palas no tenga alguna de las frecuencias naturales de la pala. De no ser así, podría producirse una resonancia en el conjunto de la turbina, produciendo vibraciones no amortiguadas que ocasionalmente podrían producir el colapso de todo el aerogenerador.

1.14.9. Ensayo estático de palas de rotor

Las palas de rotor también pasan un ensayo de resistencia (y así su habilidad de soportan cargas extremas) mediante una sola flexión con una fuerza muy elevada. Este ensayo se realiza después de que las palas han sido sometidas al ensayo de fatiga, con el fin de verificar la resistencia de una pala que ha estado en operación durante un periodo de tiempo importante.

La mayoría de las torres en los aerogeneradores modernos son torres tubulares tronco-cónicas de acero, como vimos en la página sobre torres de aerogeneradores.

1.15. Fabricación de Aerogeneradores

Diseñadas por el fabricante de la turbina
Cuestión de peso
Láminas con forma de piel de plátano
Soldeo de torres de aerogeneradores
Instalación y ensamblaje de torres de aerogeneradore
Unión de las torres a sus cimentaciones
Bridas

Es un poco complicado conseguir la forma cónica, pues la tensión (presión) de los cilindros de acero tiene que ser diferente en ambos extremos, con el fin de que la plancha se curve adecuadamente.

Las torres son ensambladas a partir de estas subsecciones cónicas más pequeñas, que son cortadas y laminadas con la forma correcta, y posteriormente unidas por soldadura.

Las torres suelen fabricarse en secciones de 20 a 30 m, siendo el transporte por tren o por carretera el factor limitante. Los pesos típicos de las torres modernas son 40 Tm para una torre de 50 m de una turbina con un diámetro de rotor de 44 m (600 kW), y de 80 TM para una torre de 60 m para un diámetro de rotor de 72 m (2000 kW).

1.15.1. Diseñadas por el fabricante de la turbina

Las torres de aerogeneradores son generalmente diseñadas por cada fabricante de turbinas, ya que todo el aerogenerador en conjunto tiene que ser homologado como una unidad. Por tanto, incluso si algunas torres son fabricadas por productores independientes, son siempre específicas para cada fabricante.

A menudo los fabricantes independientes de torres producen también tanques de petróleo y recipientes a presión, dado que la maquinaria y los procedimientos de inspección son muy similares.

1.15.2. Cuestión de peso

Los pesos de las torres (por kW de potencia instalada) han disminuido alrededor del 50 % en los últimos 10 años gracias a métodos de diseño más avanzados CAD e innovaciones en los materiales. Aunque la torre todavía sigue siendo una parte del aerogenerador bastante pesada, por lo que los costes de transporte son importantes. En los mercados más grandes, generalmente es mejor no transportar las torres por carretera más de 1000 km. En el caso de que la distancia sea superior (y de que se trate de un gran proyecto) las torres suelen fabricarse localmente.

1.15.3. Láminas con forma de piel de plátano

Para conseguir una sección con forma de cono, la lámina que se utiliza para enrollar debe tener los lados más largos curvados, y los lados cortos no tienen que ser paralelos. La mayoría de fabricantes de torres utilizan máquinas-herramienta de corte por láser para obtener la forma deseada en la lámina de acero

1.15.4. Soldadura de torres de aerogeneradores

Las secciones de acero están soldadas por arco sumergido ("powder welded")

Cada sección de la torre está soldada con un cordón longitudinal, además de un cordón circular que la une a las siguientes secciones de la torre. Esto se hace colocando las secciones de la torre sobre un banco de rodillos que gira lentamente la torre, mientras que un operador con una máquina de soldadura por arco sumergido suelda las secciones desde el exterior y otro operador suelda el correspondiente grupo de cordones en el interior.

1.15.5. Instalación y ensamblaje de torres de aerogeneradores

1.15.5.1. Unión de las torres a sus cimentaciones

Las torres suelen estar unidas con pernos a las cimentaciones de hormigón sobre las que reposan.

Sin embargo, hay otros métodos, en el que la parte inferior de la torre es colada dentro de la cimentación de hormigón, por lo que la parte más inferior de la torre tiene que ser soldada directamente en el propio emplazamiento.

Este método requiere que la torre esté provista de guías y abrazaderas especiales para mantener las dos secciones de la torre en su sitio mientras se está realizando la soldadura. También requiere una pequeña fábrica de torres móvil, incluyendo un generador, un equipo de soldeo y un equipo de inspección de rayos-X, para inspeccionar los cordones de soldadura.

1.15.2. Bridas

Las secciones de la torre de un aerogenerador son atornilladas utilizando bridas de acero laminado en caliente, soldadas a los extremos de cada sección de la torre.

Las bridas están fabricadas de acero calmado.

1.16. Explotación de Aerogeneradores en la red eléctrica

Variaciones en la energía eólica

El viento se ajusta a los patrones de consumo diario de electricidad

Calidad de potencia

Arrancar (y parar) una turbina

Arranque suave con tiristores

Redes débiles, refuerzo de red

Flicker

Evitar el "islanding"

1.16.1. Variaciones en la energía eólica

La gran mayoría de la potencia instalada de aerogeneradores en el mundo está conectada a la red, es decir, las turbinas suministran su electricidad directamente a la red eléctrica pública.

1.16.2. El viento se ajusta a los patrones de consumo diario de electricidad

Las condiciones climáticas típicas son que los vientos son suaves durante la noche, y más fuertes durante el día, como puede ver durante los cinco días de vientos moderados.

Lo que significa que la electricidad eólica se ajusta bien en los patrones de consumo de electricidad, es decir, la electricidad eólica es en general más valiosa para los sistemas de redes eléctricas que si estuviese siendo producida a un nivel aleatorio.

1.16.3. Calidad de potencia

El comprador de un aerogenerador no necesita preocuparse él mismo sobre las regulaciones técnicas de aerogeneradores y del resto del equipamiento conectado a la red eléctrica. Esta responsabilidad suele dejarse al fabricante de la turbina y a la compañía eléctrica local.

El término calidad de potencia se refiere a la estabilidad en la tensión, estabilidad en la frecuencia y a la ausencia de diversas formas de ruido eléctrico (p.ej., el parpadeo o la distorsión armónica) en la red eléctrica. Hablando en términos más generales, las compañías eléctricas (y sus clientes) prefieren una corriente alterna con una bonita forma sinusoidal.

1.16.4. Arrancar (y parar) una turbina

La mayoría de controladores electrónicos de aerogeneradores están programados para que la turbina funcione en vacío a bajas velocidades de viento (si estuviese conectada a la red eléctrica a bajas velocidades de viento, de hecho funcionaría como motor. Una vez que el viento se hace lo suficientemente potente como para hacer girar el rotor y el generador a su velocidad nominal, es importante que el generador de la turbina sea conectado a la red eléctrica en el momento oportuno.

Si no es así, tan solo estarán la resistencia mecánica del multiplicador y del generador para evitar que el rotor se acelere, y que finalmente se embale (existen diversos dispositivos de seguridad, incluyendo frenos de protección contra fallos, en el caso de que el modo de arranque correcto falle).

1.16.5. Arranque suave con tiristores

Si conectase a red un gran aerogenerador con un interruptor normal, los vecinos verían un oscurecimiento parcial (a causa de la corriente requerida para magnetizar al generador), seguido de un pico de potencia, debido a la corriente del generador sobrecargando la red. Puede ver esta situación en el dibujo de la ventana del navegador que se acompaña, donde puede ver el parpadeo de la bombilla al accionar el interruptor que arranca el

aerogenerador. El mismo efecto puede ser posiblemente visto si conecta su ordenador y el transformador de la fuente de alimentación se magnetiza del golpe.

Otro efecto secundario desagradable al utilizar interruptores "duros" sería el de aplicar un desgaste extra al multiplicador, pues la conexión del generador actuaría como si de repente se accionase el freno mecánico de la turbina.

Para evitar esta situación los modernos aerogeneradores tienen un arranque suave, se conectan y se desconectan de la red de forma gradual mediante tiristores, un tipo de interruptor continuo de semiconductor que puede ser controlado electrónicamente.

Los tiristores pierden alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía que pasa a través de ellos. Así pues, los modernos aerogeneradores suelen estar equipados con un llamado interruptor derivante, esto es, un interruptor mecánico que es activado después de que la turbina ha efectuado el arranque suave. De esta forma se minimiza la cantidad de energía perdida.

1.16.6. Redes débiles, refuerzo de red

Si una turbina se conecta a una red eléctrica débil, es decir, que está muy lejos en un rincón remoto de una red eléctrica con una baja capacidad de transporte de energía, pueden haber algunos problemas de oscurecimiento parcial/sobretensión de energía del tipo de los mencionados arriba.

En estos casos puede ser necesario un refuerzo de red para transportar la corriente alterna desde el aerogenerador.

Su compañía eléctrica local tiene experiencia en tratar con estos problemas de tensión, pues son el reflejo exacto de lo que ocurre cuando se conecta un gran usuario (p.ej. una fábrica con grandes motores eléctricos) a la red

1.16.7. Flicker

El flicker es una expresión ingenieril para designar variaciones cortas en la tensión de la red eléctrica que pueden provocar que las bombillas parpadeen. Este fenómeno puede ser relevante si el aerogenerador está conectado a una red débil, ya que variaciones de viento efímeras causarían variaciones en la potencia generada. Hay varias formas de tratar este asunto en el diseño de una turbina: mecánicamente, eléctricamente y utilizando electrónica de potencia.

1.16.8. Evitar el "islanding"

El "islanding" es una situación que puede ocurrir si una sección de la red eléctrica se desconecta de la red eléctrica principal, como ocurriría por el disparo accidental o intencionado de un gran disyuntor en la red (p.ej. debido a paros en el suministro eléctrico o a cortocircuitos en la red). Si los aerogeneradores siguen funcionando en la parte de la red que ha quedado aislada, es muy probable que las dos redes separadas no estén en fase después de un breve intervalo de tiempo.

El restablecimiento de la conexión a la red eléctrica principal puede causar enormes sobreintensidades en la red y en el generador de la turbina eólica. Esto también causaría una gran liberación de energía en la transmisión mecánica (es decir, en los ejes, el multiplicador y el rotor), tal como lo haría una "conexión dura" del generador de la turbina a la red eléctrica.

Así pues, el controlador electrónico tendrá que estar constantemente vigilando la tensión y la frecuencia de la corriente alterna de la red. En el caso de que la tensión o la frecuencia de la red local se salgan fuera de ciertos límites durante una fracción de segundo, la turbina se desconectará automáticamente de la red, e inmediatamente después se parará normalmente activando los frenos aerodinámicos.

1.17. Economía

Precio
Competencia de precios y gama de productos
Máquinas típicas de 1000 kW en el mercado actual
1000 dólares por kW en promedio
Costes de instalación de aerogeneradores
Los costes de instalación varían
Economías de escala
Costes de operación y de mantenimiento
Economías de escala
Reinversión en la turbina
Tiempo de vida de proyecto, vida de diseño
Ingresos
Producción de energía en un aerogenerador
Factor de disponibilidad

1.17.1. Precio

El coste de cada aerogenerador varía sensiblemente con el tamaño del mismo. Esto es debido a las diferentes alturas de las torres y a los distintos diámetros de rotor. Por cada metro adicional de torre se suman 1500 \$. Una máquina especial para vientos suaves con un diámetro de rotor relativamente grande será más cara que una máquina para vientos fuertes con un diámetro de rotor pequeño.

Los precios varían desde los 150000 \$ para aerogeneradores de 150 kW de potencia hasta los 500.000 \$ para 800 kW.

Economía de Escala

Al pasar de una máquina de 150 kW a otra de 600 kW los precios se triplicarán, en vez de cuadruplicarse.

La razón es que hasta cierto punto existen economías de escala, por ejemplo, la mano de obra necesaria para la construcción de una máquina de 150 kW no es muy distinta a la que hace falta para construir una máquina de 600 kW; la electrónica, la seguridad necesaria para una máquina pequeña es casi idéntica a la de una grande.

También hay economías de escala en la operación pero esta suele ser limitada.

1.17.2. Competencia de precios y gama de productos

Actualmente la competencia de precios es bastante fuerte, y la gama de productos es muy amplia alrededor de 1000 kW, dónde seguramente se encontrará una máquina optimizada para cualquier clima eólico.

1.17.3. Máquinas típicas de 1000 kW en el mercado actual

Incluso si los precios son muy similares en el rango de 600 a 750 kW, no tiene necesariamente que elegir una máquina con un generador lo más grande posible. Una máquina con un gran generador de 750 kW (y un diámetro de rotor relativamente pequeño) puede generar menos electricidad que otra de, digamos, 600 kW, si está situada en una zona de vientos suaves. Hoy en día el caballo de carga es típicamente una máquina de 1000 kW con una altura de torre de 60 a 80 metros y un diámetro de rotor de alrededor de 54 metros

1.17.4. 1000 dólares por kW en promedio

El precio medio para los grandes parques eólicos modernos está alrededor de 1.000 dólares americanos por kilovatio de potencia eléctrica instalada. La producción de energía se mide en kilovatios-hora.

Para turbinas individuales o pequeños grupos de turbinas, los costes estarán normalmente algo por encima.

1.17.5. Costes de instalación de aerogeneradores

Los costes de instalación incluyen las cimentaciones, normalmente hechas de hormigón armado, la construcción de carreteras (necesarias para transportar la turbina y las secciones de la torre hasta el lugar de la construcción), un transformador (necesario para convertir la corriente a baja tensión (690 V) de la turbina a una corriente a 10-30 kV para la red eléctrica local), conexión telefónica para el control remoto y vigilancia de la turbina, y los costes de cableado, es decir, el cable que va desde la turbina hasta la línea de alta tensión de 10-30 kV.

Los costes de instalación varían

Obviamente, los costes de las carreteras y de las cimentaciones dependen de las condiciones del suelo, es decir, de como de barato y fácil sea construir una carretera capaz de soportar camiones de 30 toneladas. Otro factor variable es la distancia a la carretera ordinaria más cercana, los costes de llevar una grúa móvil hasta el sitio, y la distancia a una línea de alta tensión capaz de manejar la producción de energía máxima de la turbina.

La conexión telefónica y el control remoto no es una necesidad, pero a menudo es bastante barato, por lo que resulta económico incluirlo en la instalación de una turbina.

Los costes de transporte de la turbina pueden entrar en los cálculos, si el emplazamiento es muy remoto, aunque normalmente no son superiores a unos 15.000 dólares americanos

1.17.6. Economías de escala

Obviamente es más barato conectar muchas turbinas en la misma localización que conectar una sola. Por otra parte, hay limitaciones a la cantidad de energía eléctrica que la red local puede aceptar. Si la red eléctrica es demasiado débil para manejar la producción de la turbina, puede ser necesario un refuerzo de red, es decir, una extensión de la red eléctrica de alta tensión. Quién debe pagar por el refuerzo de red (si el propietario de la turbina o la compañía eléctrica) varía de un país a otro

1.17.7. Costes de operación y de mantenimiento

Los modernos aerogeneradores están diseñados para trabajar alrededor de 120.000 horas de operación a lo largo de su tiempo de vida de diseño de 20 años. Esto supone mucho más que un motor de automóvil, que dura generalmente alrededor de 4.000 a 6.000 horas.

La experiencia muestra que los costes de mantenimiento son generalmente muy bajos cuando las turbinas son completamente nuevas, pero que aumentan algo conforme la turbina va envejeciendo.

Estudios llevados a cabo en 500 muestran que las nuevas generaciones de turbinas tienen relativamente menos costes de reparación y mantenimiento que las generaciones más viejas (los estudios comparan turbinas que tienen la misma edad pero que pertenecen a distintas generaciones).

Los aerogeneradores más antiguos (25-150 kW) tienen costes de reparación y mantenimiento de una media de alrededor del 3 por ciento de inversión inicial de la turbina. Las turbinas más nuevas son en promedio sustancialmente más grandes, lo que tendería a disminuir los costes de mantenimiento por kW de potencia instalada (no necesita revisar una gran turbina moderna más a menudo que otra pequeña). Para las máquinas más nuevas los rangos estimados son del 1,5 al 2 por ciento al año de la inversión inicial de la turbina.

La mayoría de costes de mantenimiento son una cantidad anual fija para el mantenimiento regular de las turbinas, aunque algunos prefieren utilizar en sus cálculos una cantidad fija por kWh producido, normalmente alrededor de 0,01 dólares americanos/kWh. El razonamiento sobre el que se apoya este método es que el desgaste y la rotura en la turbina generalmente aumentan con el aumento de la producción.

1.17.8. Economías de escala de mantenimiento

Además de las economías de escala, que varían con el tamaño de la turbina, puede haber economías de escala en la operación de parques eólicos en lugar de turbinas individuales. Estas economías se refieren a visitas de mantenimiento cada seis meses, vigilancia y administración, etc.

1.17.9. Reinversión en la turbina

Algunos componentes del aerogenerador están más sujetos que otros al desgaste y a la rotura. Esto es particularmente cierto para las palas y para el multiplicador.

Los propietarios de aerogeneradores que ven que el final de la vida de diseño de su turbina está cerca, pueden encontrar ventajoso alargar la vida de la turbina haciendo una revisión general de la turbina, p.ej. reemplazando las palas del rotor.

El precio de un juego nuevo de palas, un multiplicador o un generador suele ser del orden de magnitud del 15-20 % del precio de la turbina.

1.17.10. Tiempo de vida de proyecto, vida de diseño

Los componentes de los aerogeneradores están diseñados para durar 20 años. Evidentemente, se podría diseñar alguno de los componentes para que durase más tiempo, aunque realmente sería un desperdicio si otros componentes principales fueran a averiarse más pronto.

La vida de diseño de 20 años es un compromiso económico útil, que se utiliza para guiar a los ingenieros que desarrollan los componentes para las turbinas. Sus ensayos tienen que demostrar que sus componentes tienen una probabilidad de fallo muy baja antes de que hayan transcurrido 20 años.

La vida real de un aerogenerador depende tanto de la calidad de la turbina como de las condiciones climáticas locales, es decir, de la cantidad de turbulencias del emplazamiento, tal como se explicó en la página sobre el diseño de la turbina y las cargas de fatiga.

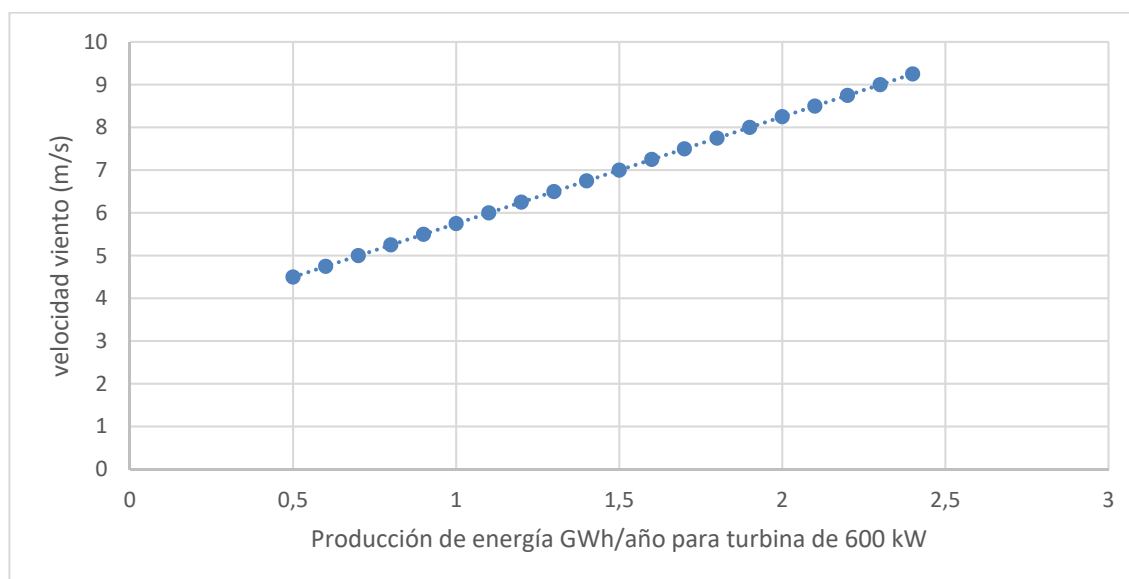
Por ejemplo, las turbinas marinas pueden durar más debido a la baja turbulencia en el mar. Esto puede implicar costes menores.

1.18. Ingresos

1.18.1. Producción de energía en un aerogenerador

La producción de energía anual (en millones de kWh) varía con la intensidad del viento de la localización. Con una velocidad de viento media de, digamos, 6'75 m/s a la altura del buje, obtendrá alrededor de 1,5 millones de kWh de energía anuales.

La producción de energía anual varía aproximadamente con el cubo de la velocidad del viento a la altura del buje. Cómo de sensible es la producción de energía respecto a la velocidad del viento varía con la distribución de probabilidad del viento.



Gráfica 3.- Producción de energía GWh/año para turbina de 600 kW

1.18.2. Factor de disponibilidad

Las cifras de producción de energía anual consideran que los aerogeneradores están en condiciones de servicio y preparados para girar todo el tiempo. Sin embargo, en la práctica, los aerogeneradores necesitan reparación e inspección una vez cada seis meses para asegurar que siguen siendo seguros. Además, las averías de componentes y los accidentes (fallos de suministro eléctrico) pueden inutilizar los aerogeneradores.

Estadísticas muy extensas muestran que los fabricantes alcanzan, en consecuencia, factores de disponibilidad de alrededor del 98 por ciento, es decir, las máquinas están preparadas para funcionar más del 98 por ciento del tiempo. La producción de energía total se ve generalmente afectada en menos de un 2 por ciento, dado que los aerogeneradores nunca están en funcionamiento durante los vientos fuertes.

Un grado tan alto de fiabilidad es extraordinario, comparado con otros tipos de maquinaria, incluyendo otras tecnologías de generación de electricidad. Así pues, el factor de disponibilidad suele ignorarse en los cálculos económicos, dado que hay otras incertidumbres (p.ej. la variabilidad del viento) que son mucho mayores.

Sin embargo, no todos los fabricantes del mundo tienen un buen registro de fiabilidad, por lo que siempre es una buena idea revisar el historial de los fabricantes y la capacidad de servicio antes de salir y comprar un nuevo aerogenerador.

1.18.3. Energía Eólica: Tarifas de energía eléctrica

Generalmente las compañías eléctricas están más interesadas en comprar electricidad durante las horas de picos de carga (máximo consumo) de la red eléctrica, pues de esta forma se ahorran la utilización de electricidad de unidades generadoras menos eficientes. De acuerdo con un estudio sobre los costes y beneficios sociales de la energía eólica la electricidad eólica puede ser de un 30 a un 40 por ciento más valiosa para la red que si se produjera de forma totalmente aleatoria.

En algunas áreas, las compañías eléctricas aplican tarifas eléctricas distintas dependiendo de la hora del día, cuando compran la energía eléctrica de los propietarios privados de aerogeneradores.

Normalmente, los propietarios de aerogeneradores reciben menos del precio normal de la electricidad para el consumidor, pues ese precio suele incluir el pago a la compañía eléctrica por los costes de operación y mantenimiento de la red eléctrica, además de sus beneficios.

1.18.4. Crédito de capacidad

Para explicar el concepto de crédito a la capacidad, veamos primero la definición de su contrario, las tarifas de potencia: Los consumidores de flujo eléctrico pagan tanto por la cantidad de energía (kWh) que consumen como por la máxima cantidad de potencia que obtienen de la red, es decir, los consumidores que quieren obtener una gran cantidad de energía y muy rápidamente deberán pagar más. Eso es debido a que fuerzan a la compañía eléctrica a disponer de una mayor capacidad de generación total disponible (mayor potencia de planta).

Las compañías eléctricas tienen que considerar añadir capacidad de generación cuando le proporcionan acceso a red a un nuevo consumidor. Pero con un número modesto de aerogeneradores en la red, los aerogeneradores son casi como "consumidores negativos", como se explica en la sección sobre aerogeneradores de la red eléctrica posponen la necesidad de instalar otra nueva capacidad generadora.

Así pues, muchas compañías eléctricas pagan una cierta cantidad anual a los propietarios de aerogeneradores en concepto de crédito de capacidad. El nivel exacto de crédito de capacidad varía. En algunos países se paga en función de un número de mediciones de la potencia producida durante el año. En otras áreas, se utiliza algún tipo de fórmula. Finalmente, en diversas áreas no se proporciona ningún tipo de crédito de capacidad, pues se considera como una parte de la tarifa de energía. En cualquier caso, el crédito de capacidad es una cantidad por año bastante modesta

1.18.5. Costes de potencia reactiva

La mayoría de aerogeneradores están equipados con los denominados generadores asíncronos, también llamados generadores de inducción. Estos generadores necesitan corriente de la red eléctrica para crear un campo magnético dentro del generador con el fin de funcionar. Como resultado, la corriente alterna de la red eléctrica cercana a la turbina se verá afectada (desplazamiento de fase). En algunos casos esto puede hacer que disminuya (aunque en algunos casos aumenta) la eficiencia de la transmisión de electricidad en la red vecina, debido al consumo de potencia reactiva.

En casi todo el mundo las compañías eléctricas exigen que los aerogeneradores estén equipados con una batería de condensadores eléctricos conmutables, que compensan parcialmente este fenómeno (por razones técnicas no quieren una compensación total). Si la turbina no cumple las especificaciones de la compañía eléctrica, el propietario puede tener que pagar cargos adicionales.

Normalmente, este no es un problema que preocupe a los propietarios de aerogeneradores, ya que los fabricantes experimentados suministran por rutina de acuerdo con las especificaciones de la compañía eléctrica local.

1.18.6. Economía básica de inversiones

1.18.6.1. Rentabilidad social de las inversiones en energía eólica

La economía y las inversiones en energía eólica desde el punto de vista de la sociedad en conjunto, como los economistas suelen hacer.

No damos cuenta de los beneficios medioambientales, lo haremos más tarde. No miramos la financiación ni los impuestos. Esas cuestiones varían enormemente de un país a otro, aunque no hacen que ninguna nación sea más rica o más pobre: sólo sirven para redistribuir los ingresos. Lo que la sociedad obtiene por recompensa de la inversión en energía eólica es electricidad no contaminante; averigüemos cuánto cuesta eso.

1.18.6.2. Guía de los inversores privados

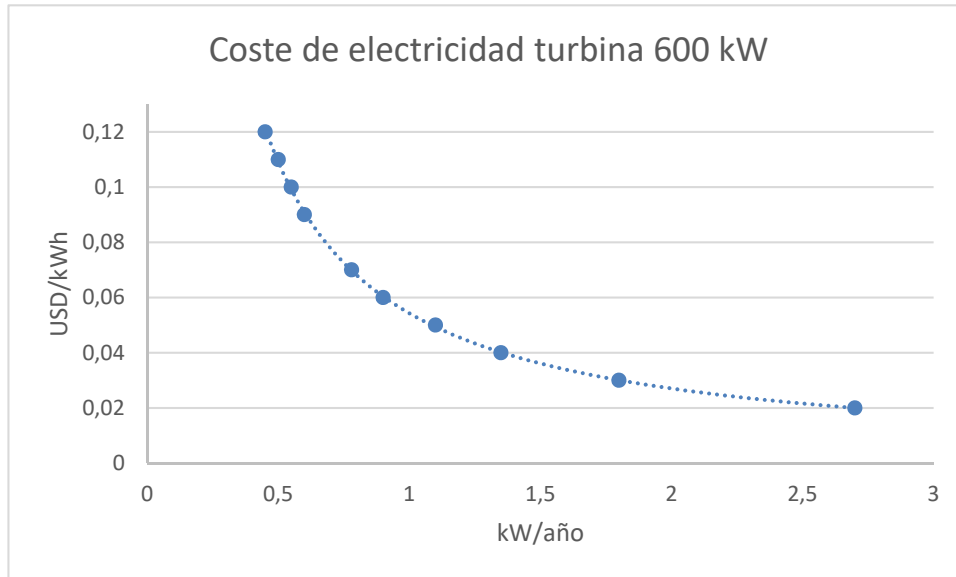
Antes de impuestos, esto es: generalmente, las inversiones que tienen una alta tasa de rentabilidad antes de impuestos tendrán una tasa de rentabilidad incluso mayor después de impuestos.

Sin embargo, la razón es que los reglamentos de amortización para toda esta clase de negocios tienden a ser muy favorables en la mayoría de países. Con rápidas amortizaciones de los impuestos obtiene una mayor rentabilidad de su inversión, dado que le permite deducir la pérdida de valor de su activo más rápidamente de lo que en realidad lo hace. Esto no es nada particular de los aerogeneradores. Es cierto para todo tipo de inversiones financieras.

1.18.7. Aspectos económicos de la energía eólica

No existe un único precio para la energía eólica.

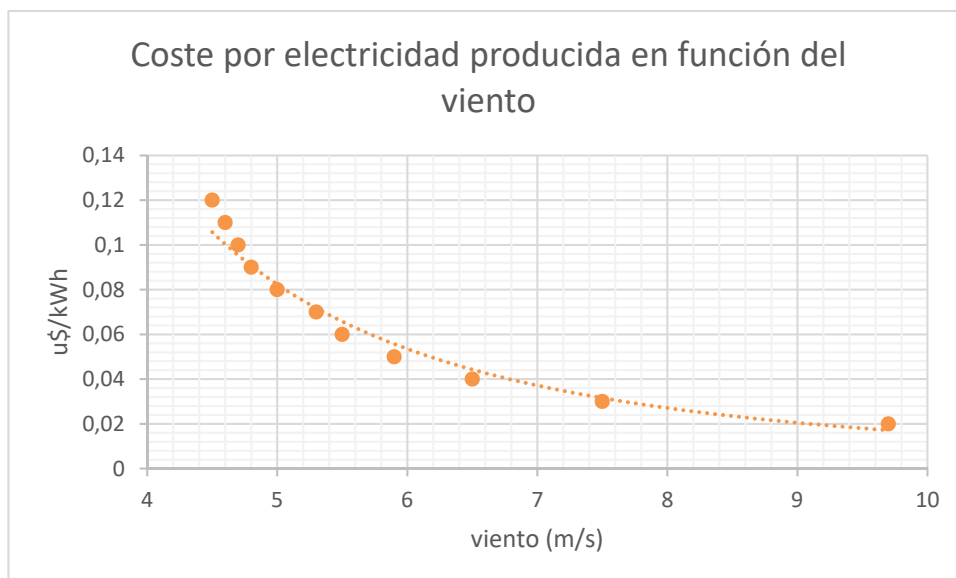
La producción anual de electricidad variará enormemente en función de la cantidad de viento del emplazamiento de la turbina. Así pues, no hay un único precio para la energía eólica, sino un rango de precios en función de las velocidades del viento.



Gráfica 4 Coste de electricidad de turbina de 600 kW

La relación es bastante simple, si se produce el doble de electricidad por año, se paga la mitad de coste por kWh.

Con los gráficos de coste y producción de energía eléctrica podemos hallar la relación existente entre coste de electricidad y velocidad del viento para la misma turbina de ejemplo de 600 kW y un buje a una altura de 10 m



Gráfica 5.- Coste por electricidad producida en función del viento

1.19. Errores

Costes de generación de energía eólica

Depreciación

Precios y costes

La productividad y los costes

Variación de los costes de instalación

La energía eólica es una tecnología de obtención de un recurso

Utilizar las estadísticas de un área no es una guía fiable de los costes en otra área

El coste por kW de potencia nominal y por metro cuadrado de área de rotor

Desatino sistemático del kW - Un ejemplo

Errores con los factores de capacidad

Alquiler del suelo

1.19.1. Costes de generación de energía eólica

Depreciación económica de su inversión

Interés sobre el capital invertido

Costes de operación y mantenimiento

1.19.2. Depreciación

La depreciación económica es un poco engañosa. Simplemente, no podrá calcular la depreciación económica de su inversión a menos que conozca los ingresos de la misma. Pero la depreciación se define como la disminución en el valor del capital de su inversión, utilizando como factor de actualización la tasa interna de retorno (TIR). Si desconoce cuáles serán los ingresos de esa inversión, tampoco conoce la tasa de retorno, por lo que no puede calcular la depreciación económica.

La principal fuente del error es que la gente confunde depreciación fiscal o contable con depreciación económica. Pero la depreciación fiscal o contable es simplemente un conjunto de reglas mecánicas que no se utiliza para obtener los verdaderos costes por kWh de la energía.

1.19.3. Precios y costes

Precios y costes son dos conceptos muy diferentes.

Se utilizan las palabras coste y precio como sinónimos. Pero no lo son. El precio de un producto viene determinado por la oferta y la demanda del producto. Mucha gente asume ingenuamente que el precio de un producto es algo que resulta de añadir un beneficio normal o razonable a un coste. Claramente no es el caso, a menos que se esté dirigiendo un monopolio controlado por el Gobierno.

Los precios de los aerogeneradores no pueden calcularse dividiendo la facturación por el volumen.

Algunos toman las cifras de los fabricantes y las dividen por las ventas (en MW) para obtener el precio del megavatio instalado. Pero estos resultados carecen de significado alguno. Algunas de las razones por las que eso no puede hacerse son:

Algunas de las entregas de los fabricantes son proyectos completos llave en mano, y que incluyen planificación, góndolas, palas, torres, cimentaciones, transformadores, multiplicadores y otros costes de instalación, incluyendo la construcción de viales y las líneas de evacuación. Otras entregas son únicamente de góndolas, o pasando por todas las posibles combinaciones. Las cifras de ventas que dan los fabricantes también incluyen el servicio y las ventas de piezas de recambio.

Las ventas de los fabricantes incluyen los ingresos por licencias, aunque el correspondiente MW no aparece

registrado en las cuentas de la compañía.

Las ventas pueden variar de forma muy significativa entre mercados, p.ej., de aerogeneradores altos y de aerogeneradores bajos. Los precios de los diferentes tipos de turbina son muy diferentes.

Los patrones de ventas, tipos de turbinas, y tipos de contratos varían de forma significativa y nada sistemáticamente de un año a otro.

Los precios deberían obtenerse de listas de precios. Sin embargo, es inútil obtener promedios simples de una lista así, ya que algunos modelos de turbina no se comercializan, mientras que el volumen de venta de otros es enorme. No tiene sentido obtener un promedio del precio de turbinas de, digamos, 1.000 kW, incluso si tienen la misma altura de torre. Tiene mucho más sentido mirar el precio por metro cuadrado de área de rotor, tal y como se explica en la siguiente sección.

1.19.4. La productividad y los costes

La productividad y los costes dependen del precio de la electricidad, y no al revés.

Si mira la producción anual por metro cuadrado de área de rotor en Dinamarca, tiende a ser mucho mayor que en Alemania, por ejemplo. En rigor, esto no tiene nada que ver con los diferentes recursos eólicos. Se debe a los diferentes precios de la electricidad. En Dinamarca no resulta rentable instalar aerogeneradores en zonas de vientos bajos, mientras que en Alemania es rentable utilizar las zonas de poco viento debido a los altos precios de la electricidad.

Alemania tiene un precio de la electricidad muy alto para las renovables (tarifa eléctrica por kWh de la energía suministrada a red). Así pues, encontrará que en Alemania es rentable equipar a los aerogeneradores con torres muy altas para un determinado tamaño de generador. El elevado precio de la electricidad también hace rentable que se instalen aerogeneradores en las zonas de poco viento. En ese caso, las turbinas más económicas tendrán mayores diámetros de rotor respecto al tamaño del generador que en otras partes del mundo.

Así pues, los aerogeneradores vendidos en el mercado alemán pueden parecer más caros que los de otros mercados, si mira el precio por kW de potencia (nominal) instalada. Aunque esto es una estadística engañosa, porque lo que usted realmente ve son máquinas que están optimizadas para aquellos emplazamientos alemanes en los que hay poco viento. Lo que importa es el precio por metro cuadrado de área de rotor a una altura de buje dada, y no el precio por kW de potencia instalada.

1.19.5. Variación de los costes de instalación

Igualmente obtiene una imagen engañosa cuando mira los costes de instalación. Lo curioso es que no necesariamente tendrá un alto coste de generación de electricidad debido a un alto coste de instalación. Más bien al contrario: Se suele incurrir en costes de instalación altos cuando se tiene un buen recurso eólico (y por lo tanto costes de generación baratos) en un área remota.

Los costes de instalación en Gales tienden a ser muy altos varias veces superiores a los de Dinamarca- a pesar de un muy bajo precio de la electricidad. Esto se debe simplemente a que hay una gran cantidad de viento si se sitúan los aerogeneradores en la cima de las perfectamente redondeadas colinas Welch (vea el efecto colina). Realmente es rentable construir una carretera cara a través de los páramos, y construir cimentaciones caras con el fin de utilizar las áreas de vientos fuertes. En otras palabras: se pueden asumir altos costes de instalación precisamente cuando se tiene un buen recurso eólico.

En muchos casos los costes de instalación incluyen los costes de extensión de la red eléctrica y/o refuerzo de la misma. Dado que los costes de cableado pueden ser bastante significativos, es crucial el hecho de que un parque eólico se sitúe próximo a una línea existente de media tensión (9-30 kV), o lejos de una línea eléctrica.

Como consecuencia, no tiene sentido utilizar costes de instalación medios, si no se habla de áreas con un régimen eólico muy semejante, el mismo precio del kWh de electricidad vertida a la red, y la misma distancia a la red.

1.19.6. La energía eólica es una tecnología de obtención de un recurso

En función del emplazamiento dónde se sitúan los aerogeneradores y por tanto del viento que circule a través de ellos producirá más o menos energía.

1.19.7. Utilizar las estadísticas de un área no es una guía fiable de los costes en otra área

El coste de la energía eólica en Alemania es alto porque los precios de la electricidad son altos. El coste de la energía eólica en el Reino Unido es bajo porque los precios de la electricidad son bajos. Y, por supuesto, si tiene bajos precios de la electricidad habrá pocas turbinas instaladas, dado que los emplazamientos con vientos altos son escasos, y puede no ser capaz de encontrar emplazamientos que resulten rentables.

1.19.8. El coste por kW de potencia nominal y por metro cuadrado de área de rotor

El coste por cada kW de potencia nominal no es suficiente como indicador para saber si invertir o no en energía eólica. Lo que importa es el coste por metro cuadrado de área de rotor, ya que la producción también vendrá por el área del rotor.

La mayoría de fabricantes y empresas del sector buscan constantemente la disminución de costes del cómputo global de la energía eólica para ello se estudia la disminución en el precio de los aerogeneradores, por lo que solicitan una estadística relativamente simple: el precio de un aerogenerador por kW de potencia instalada [€/kW]. Esa cifra suele ser difícil de conseguir, y no es suficiente para los desarrollos de costes por múltiples razones.

Es muy difícil dar una única cifra para el coste por kW de potencia instalada, ya que el precio de un aerogenerador varía mucho más con el diámetro del rotor que con el tamaño del generador. La razón es que la producción anual depende mucho más del diámetro del rotor que del tamaño del generador.

Los estudios que comparan el coste medio por kW de potencia instalada para diferentes tecnologías suelen ser engañosos cuando incluyen a la energía eólica.

1.19.9. Desatino sistemático del kW

Como ejemplo de porqué resulta engañoso utilizar el precio por kW de potencia nominal para un aerogenerador, compare la producción anual de energía de dos máquinas del mismo fabricante, ambas montadas sobre una torre de 50 m (la primera es una máquina para vientos altos y la segunda es una máquina universal).

Vestas V39, una turbina de 600 kW con un diámetro de rotor de 39 m

Vestas V47, una turbina de 660 kW con un diámetro de rotor de 47 m

El resultado es que la producción anual de energía de la segunda máquina es 45,2% mayor que la de la primera máquina, a pesar de que el generador es tan sólo un 10% mayor. Sin embargo, si se comparan las dos áreas de rotor, puede observar que el área del rotor de la segunda máquina es exactamente el 45,2% más grande que la de la primera máquina.

Por lo tanto, si consideramos que el precio de la segunda máquina es un 33% mayor al de la primera, al compararlas obtendría resultados muy diferentes:

El precio por kW de potencia nominal ha aumentado un 21%

El precio por metro cuadrado de área de rotor ha disminuido un 8,4%

El precio por kWh de energía ha disminuido un 8,4%

Cada vez más los nuevos aerogeneradores están siendo construidos con cambio de ángulo de paso (pitch control) en lugar de con pérdida aerodinámica (stall control). Esto significa que el tamaño del generador, en relación con el del rotor, puede ser variado más libremente. En general, existe la tendencia a utilizar áreas de rotor mayores para un tamaño de generador dado. Eso significa que obtendrá un precio de desarrollo completamente falso (sobrestimado) cuando compare el coste por kW instalado de nuevas y viejas turbinas. La medida importante del precio es el precio por metro cuadrado de área que barre el rotor, y no el precio por kW de potencia (nominal)

instalada.

1.19.10. Errores con los factores de capacidad

Frecuentemente, los analistas se interesan en el factor de capacidad de la energía eólica. El factor de capacidad para una tecnología de generación es igual a la producción anual de energía dividida por la producción teórica máxima si el generador estuviese funcionando a su potencia nominal durante todo el año.

Dependiendo de las estadísticas de viento para un emplazamiento concreto, el factor de capacidad ideal de un aerogenerador está alrededor del 25-30%, ya que ese factor de capacidad minimiza los costes por kWh. No es para nada deseable aumentar el factor de capacidad en un aerogenerador, ¡tal y como lo sería para las tecnologías en las que el combustible no es gratis! Esta aparente paradoja del factor de capacidad se explica más detalladamente en la página sobre Producción anual de energía en un aerogenerador.

Los factores de capacidad serán muy diferentes para diferentes máquinas (cfr. el ejemplo anterior), aunque los precios (o costes) de esas máquinas serán igualmente muy diferentes. En el análisis final, lo que cuenta es el coste por kWh de energía producida, y no el factor de capacidad.

1.19.11. Alquiler del suelo

Los alquileres del suelo dependen de la rentabilidad de un proyecto y no al revés

Es un error muy común el considerar la compensación a los propietarios de los terrenos donde se sitúan los aerogeneradores como un coste de la energía eólica. En realidad, es sólo una pequeña parte de la compensación la que es un coste, que es la pérdida de cosecha en el área que ya no puede ser cultivada, más una compensación por las posibles molestias en caso de que el agricultor tenga que dar más vueltas cuando labra los campos de debajo de las turbinas.

Si la compensación sobrepasa a lo que normalmente pagaría por instalar un poste de una línea eléctrica, el exceso es en realidad una transferencia de ingresos, que es una cuestión bastante diferente para los economistas. No es un coste para la sociedad como tal, aunque es una transferencia de ingresos (beneficios) del propietario de la turbina al propietario del suelo. Los economistas llaman renta a una transferencia así. El pago de una renta no transfiere recursos reales de un uso a otro.

1.20. Ilustraciones

Para visualizar todos los componentes en una góndola y ver cómo trabajan en conjunto, acoplados unos junto a otros se adjunta la imagen, en ella se pueden apreciar todos y cada uno de los componentes anteriormente descritos: generador, multiplicador, eje de baja velocidad, sistema hidráulico, transformador, rotor, buje, carenado, góndola, sistema de control, palas, sistema de orientación.



Ilustración 1.- Modelo 3D de un aerogenerador.¹

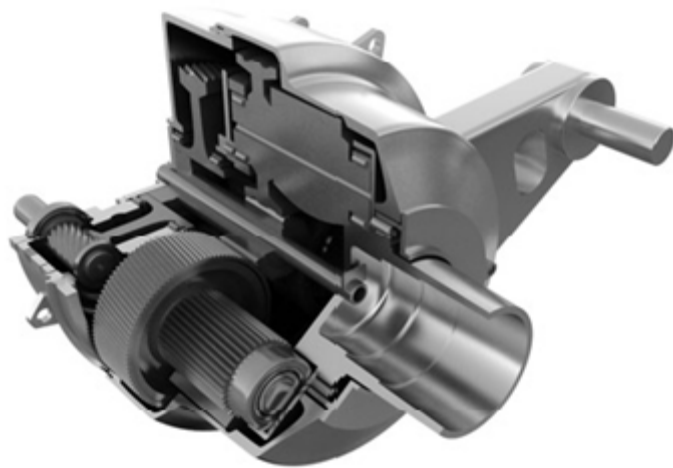


Ilustración 2.- Modelo 3D de un multiplicador.

¹ Autor: Brian Plauger, realizando con 3D studio. Fuente: coroflot.com

2. ESTUDIO DE MERCADO DE TURBINAS EÓLICAS

2.1. Estudio de Mercado

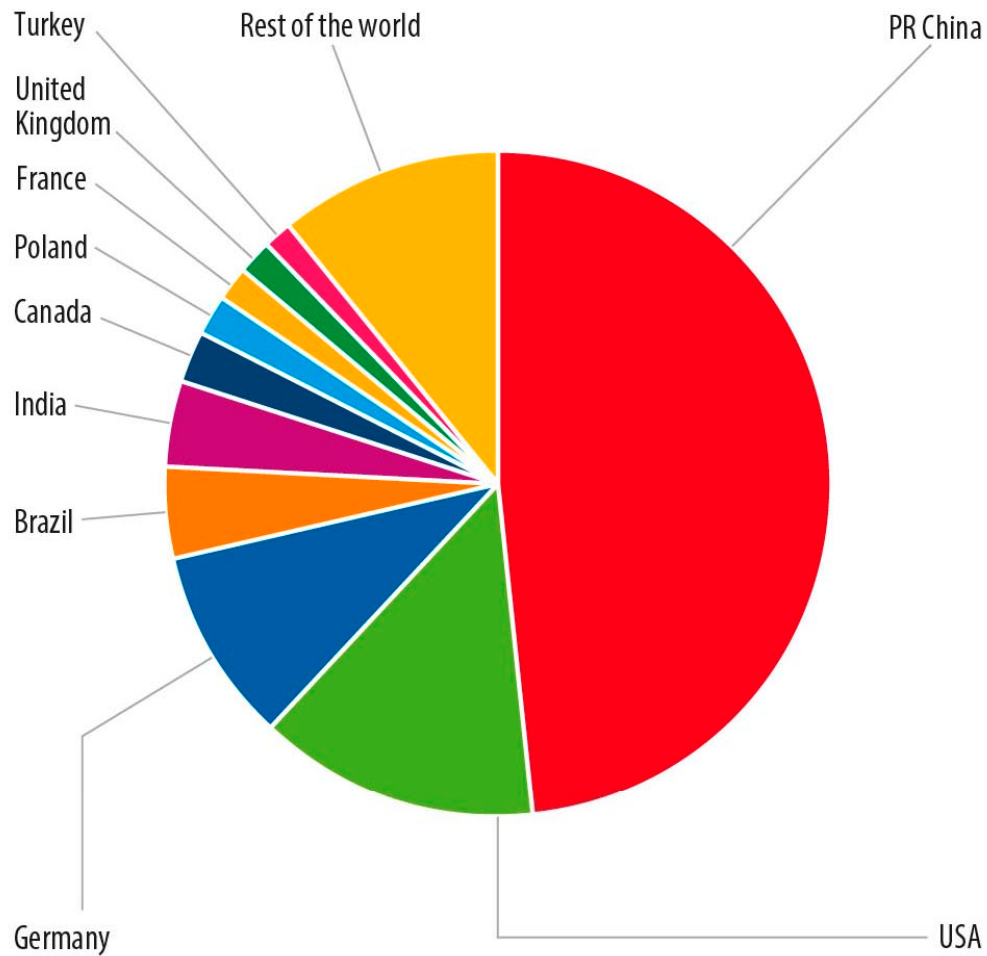
Estudiando la potencia eléctrica instalada en España durante el año 2015 se ve que la potencia eléctrica instalada en España, en concreto energía eólica, fue de 25,3 MW eso es prácticamente nula, por ello las turbinas producidas tienen como destino el extranjero, España no es el mejor cliente de turbinas eólicas.

Mientras que en el resto de países europeos, y casi cualquier país con una economía desarrollada la instalación eléctrica de energía eólica ha aumentado progresivamente durante los últimos años, en España se ha reducido drásticamente desde el año 2012.

Según Acciona, la potencia eléctrica acumulada en todo el mundo fue de 400 GW aproximada, de los cuales 63,467 GW fueron nueva instalación siendo un importante activo en el pull eléctrico, el mismo año; comparado con España es una cantidad 2508 veces más pequeña. No sólo eso, según la consultora Navigant BTM² la potencia eléctrica instalada mediante energía eólica crecerá un 40% hasta 600 GW en 2019, una planta industrial que produce turbinas eólicas es viable económicamente, con un mercado en expansión y una demanda que crece progresivamente.

² Fuente: World wind energy market update 2015

TOP 10 NEW INSTALLED CAPACITY JAN-DEC 2015



Country	MW	% Share
PR China	30,753	48.5
USA	8,598	13.5
Germany	6,013	9.5
Brazil	2,754	4.3
India	2,623	4.1
Canada	1,506	2.4
Poland	1,266	2.0
France	1,073	1.7
United Kingdom	975	1.5
Turkey	956	1.5
Rest of the world	6,950	11.0
Total TOP 10	56,517	89
World Total	63,467	100

Source: GWEC

Tabla 3.- Potencia instalada durante el año 2015 según GWEC³

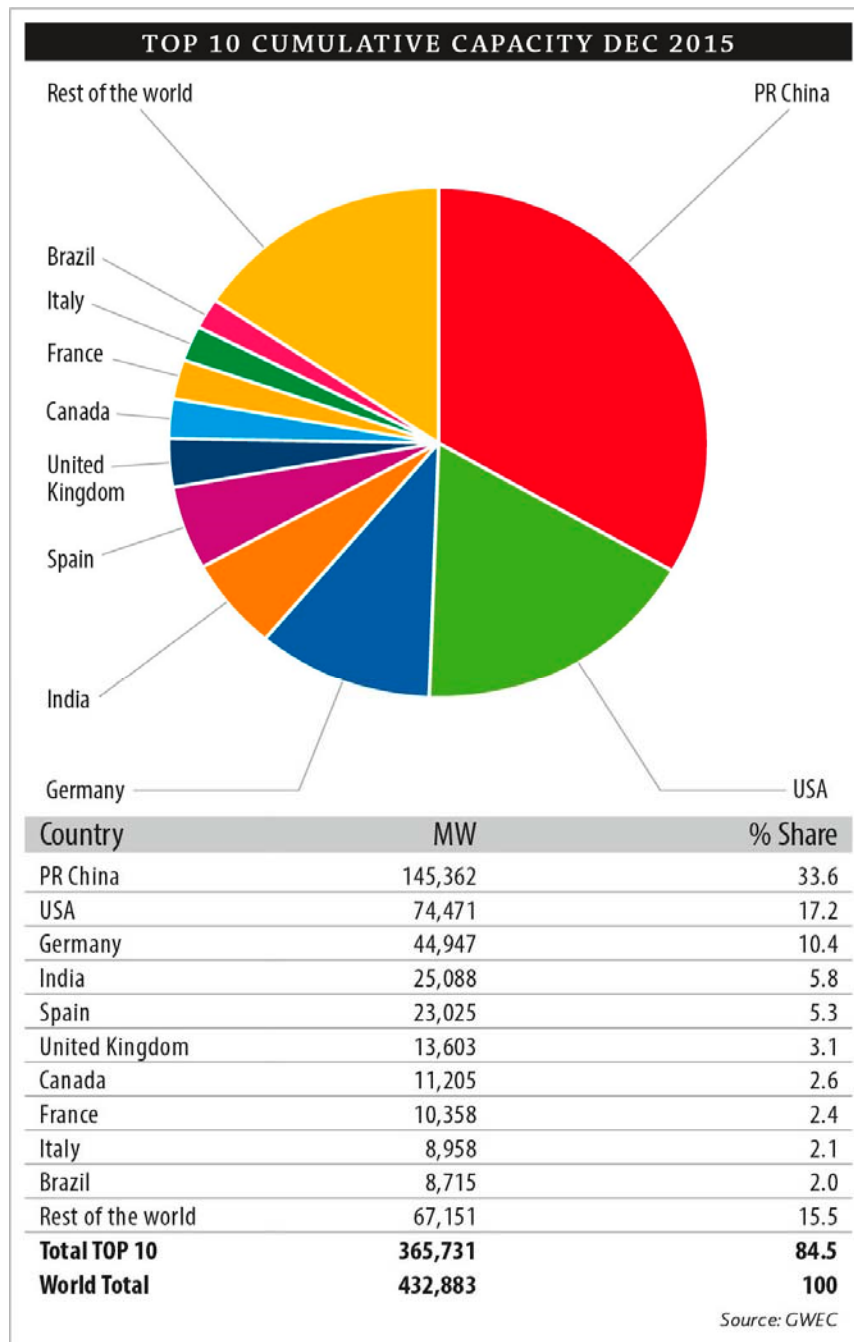


Tabla 4.- Potencia eléctrica eólica acumulada hasta el año 2015.

España está en la 5º posición de potencia eléctrica eólica acumulada hasta la fecha, pero con el estancamiento de nueva instalación se verá sobrepasada próximamente por países como Reino Unido, Francia o Canadá. No creo que el mercado Español esté saturado, ni mucho menos, ya que posee un gran potencial, con zonas de vientos fuertes como Canarias, Bahía de Algeciras y campo de Gibraltar, Finisterre en Galicia y la cornisa cantábrica son zonas de alto rendimiento con posibilidad de instalar turbinas de gran potencia, así como zonas de vientos localmente fuertes como zonas de montaña y de la meseta, donde con viento bajo pero constante se pueden obtener una alta capacidad eléctrica; la electricidad en España es de las más caras de la Unión Europea, con un precio alto, es más sencillo entrar en el mercado, en comparación con Francia por ejemplo, que posee la electricidad más barata de la UE debido a sus 52 reactores nucleares, que abaratan considerablemente la factura eléctrica.

EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA

Año	GWh	Δ Anual (%)	Δ Anual corregido (%) [1]
2011	255.597	-1,9	-1,0
2012	252.014	-1,4	-1,8
2013	246.368	-2,2	-2,2
2014	243.544	-1,1	-0,1
2015	248.181	1,9	1,5

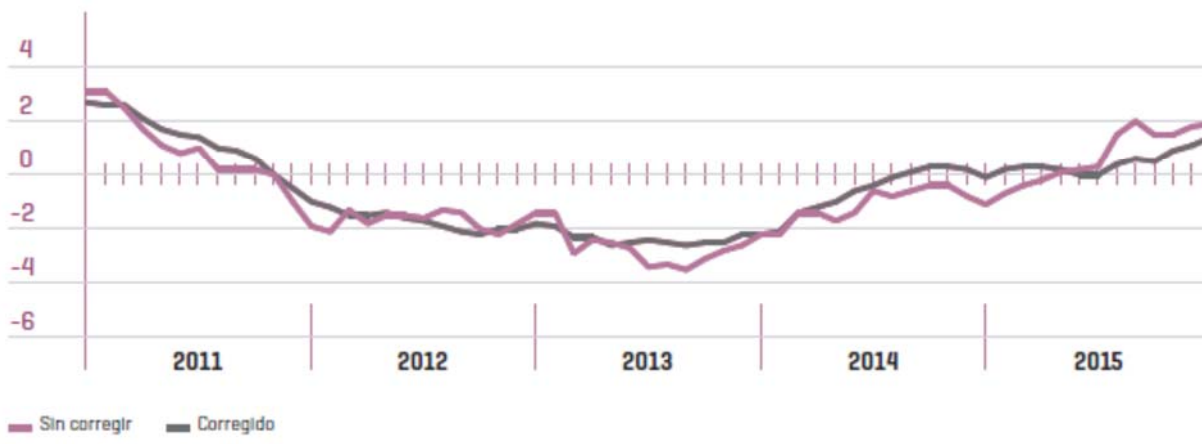
[1] Por los efectos de laboralidad y temperatura.

Tabla 5.- Potencia eléctrica demandada en España. Fuente:REE

Fuente: REE⁴

CRECIMIENTO ANUAL DE LA DEMANDA (AÑO MÓVIL)

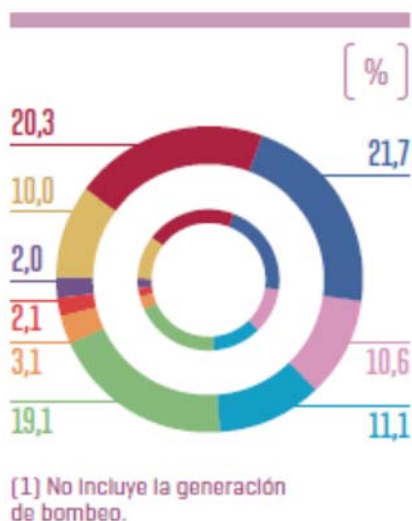
[%]



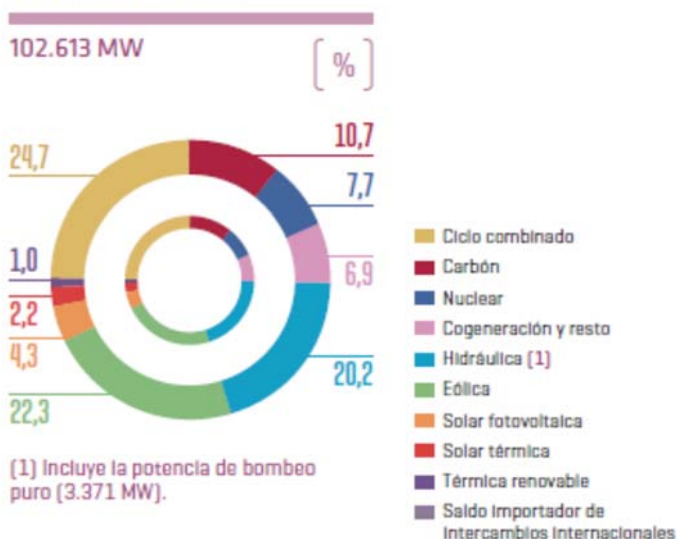
Gráfica 5.- Crecimiento anual de la demanda eléctrica. Fuente REE.

⁴ Fuente de datos, tablas y gráficas: REE, avance informe sistema eléctrico.

COBERTURA DE LA DEMANDA ANUAL



POTENCIA INSTALADA A 31 DIC 2015



Gráfica 6.- Cobertura de la demanda Anual⁵

POTENCIA INSTALADA A 31 DE DICIEMBRE

	Sistema peninsular		Sistemas no peninsulares		Total nacional	
	MW	% 15/14	MW	% 15/14	MW	% 15/14
Hidráulica	18.668	4,9	1	0,0	18.669	4,9
Nuclear	7.866	0,0	-	-	7.866	0,0
Carbón	10.972	0,0	510	0,0	11.482	0,0
Fuel / gas	0	-100,0	2.784	-0,2	2.784	-15,8
Ciclo combinado (1)	25.348	0,0	1.851	0,0	27.199	0,0
Hidroeólica	-	-	12	0,0	12	0,0
Resto hidráulica (2)	2.109	0,0	0,5	0,0	2.109	0,0
Eólica	22.845	0,0	158	0,0	23.003	0,0
Solar fotovoltaica	4.423	0,5	244	0,3	4.667	0,5
Solar térmica	2.300	0,0	-	-	2.300	0,0
Térmica renovable	984	0,0	5	0,0	989	0,0
Cogeneración y resto	7.098	0,0	121	0,0	7.219	0,0
Total	102.613	0,4	5.686	-0,1	108.299	0,4

Tabla 4.- Potencia instalada durante el año 2015 en España.

⁵ Fuente: REE. Avance Informe sistema eléctrico.

GLOBAL INSTALLED WIND POWER CAPACITY (MW) – REGIONAL DISTRIBUTION

		End 2014	New 2015	Total End 2015
AFRICA & MIDDLE EAST				
	South Africa	570	483	1,053
	Morocco	787	-	787
	Egypt	610	200	810
	Tunisia	245	-	245
	Ethiopia	171	153	324
	Jordan	2	117	119
	Other ¹	151	-	151
	Total	2,536	953	3,489
ASIA				
	PR China	114,609	30,753	145,362
	India	22,465	2,623	25,088
	Japan	2,794	245	3,038
	South Korea	610	225	835
	Taiwan	633	14	647
	Pakistan	256	-	256
	Thailand	223	-	223
	Philippines	216	-	216
	Other ²	167	-	167
	Total	141,973	33,859	175,831
EUROPE				
	Germany	39,128	6,013	44,947
	Spain	23,025	-	23,025
	UK	12,633	975	13,603
	France	9,285	1,073	10,358
	Italy	8,663	295	8,958
	Sweden	5,425	615	6,025
	Poland	3,834	1,266	5,100
	Portugal	4,947	132	5,079
	Denmark	4,881	217	5,063
	Turkey	3,738	956	4,694
	Netherlands	2,865	586	3,431
	Romania	2,953	23	2,976
	Ireland	2,262	224	2,486
	Austria	2,089	323	2,411
	Belgium	1,959	274	2,229
	Rest of Europe ³	6,564	833	7,387
	Total Europe	134,251	13,805	147,771
	of which EU-28 ⁴	129,060	12,800	141,578
LATIN AMERICA & CARIBBEAN				
	Brazil*	5,962	2,754	8,715
	Chile	764	169	933
	Uruguay	529	316	845
	Argentina	271	8	279
	Panama	35	235	270
	Costa Rica	198	70	268
	Honduras	126	50	176
	Peru	148	-	148
	Guatemala	-	50	50
	Caribbean ⁵	250	-	250
	Others ⁶	285	-	285
	Total	8,568	3,652	12,220
NORTH AMERICA				
	USA	65,877	8,598	74,471
	Canada	9,699	1,506	11,205
	Mexico	2,359	714	3,073
	Total	77,935	10,817	88,749
PACIFIC REGION				
	Australia	3,807	380	4,187
	New Zealand	623	-	623
	Pacific Islands	12	0,6	13
	Total	4,442	380,6	4,823
	World total	369,705	63,467	432,883

Source: GWEC

¹ Algeria, Cape Verde, Iran, Israel, Kenya, Libya, Nigeria

² Bangladesh, Mongolia, Sri Lanka, Vietnam

³ Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Estonia, Finland, Faroe Islands, FYROM, Hungary, Iceland, Latvia, Liechtenstein, Lithuania, Luxembourg, Malta, Norway, Romania, Russia, Switzerland, Slovakia, Slovenia, Ukraine

⁴ Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Croatia, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, UK

⁵ Caribbean: Aruba, Bonaire, Curacao, Cuba, Dominica, Guadalupe, Jamaica, Martinica, Granada, St. Kitts and Nevis

⁶ Bolivia, Colombia, Ecuador, Nicaragua, Venezuela

Note: Project decommissioning of approximately 290 MW and rounding affect the final sums

* Projects fully commissioned, grid connections pending in some cases

Tabla 5.- Capacidad total instalada y previamente instalada durante el 2015

2.1.1. Destacados

La instalación global de energía eólica durante el año 2015 marcó un record de 63,5 GW; representando un crecimiento del 24% respecto al año anterior de 2014 que instaló 51,2 GW.

China es el mayor consumidor de turbinas eólicas, instalaron 30,7 GW; un aumento del 31,75% respecto al año previo.

Las turbinas de accionamiento directo crecieron un 30 %, siendo el 27% el mercado global.

La turbina más popular fue la china Goldwind de 1,5 MW.

2.1.2. Crecimiento de la instalación eólica global

La industria eólica instaló 65,5 GW de potencia eólica. Sobre una base global, el tamaño del mercado anual creció un 24% de año a año, siguiendo la tendencia creciente del 42 % a/a del 2014, y compensando la caída del 20% del año 2013; este rendimiento ha hecho que el crecimiento medio desde hace 5 años pase de del 5,1% al 7,8%.

El crecimiento del mercado por las políticas llevadas a cabo en 3 países clave: China, Alemania y Estados Unidos que incentivan la instalación de energía eólica. Brasil tuvo año record en 2015 debido a que se finalizaron proyectos comenzados años anteriores. Turquía, Francia y Canadá también apoyaron este crecimiento sostenible. 2015 puede ser visto como el año en el que la diversificación del mercado se ha hecho una realidad, con nuevos mercados como Sudáfrica, Uruguay y Chile.

2.1.3. Demanda destacada en 2015

63,5 GW de nueva capacidad de energía eólica se instalaron, marcando un nuevo record por segundo año consecutivo. Acumulando más de 400 GW totales.

El mercado chino se ha fortalecido, propulsando al continente asiático, superando a Europa como la región con más potencia acumulada, concentrando un 37,7% de toda la potencia mundial, 1,5 puntos más que Europa. Europa es la segunda potencia reuniendo el 23,7 % de todas las nuevas instalaciones.

América: Norteamérica y Sudamérica, tuvieron un buen año, todos los países, salvo Argentina instalaron más turbinas que el año previo, siendo el 22,1% de las nuevas instalaciones, 1,6 puntos porcentuales menos que Europa.

China, otro año consecutivo, es el mayor mercado con 30,7 GW de potencia eólica instalada en 2015, EEUU fue la segunda, superando a Alemania con 8,6 GW y 6 GW respectivamente; Brasil igualó su marca del año pasado 2,7 GW, manteniendo su 4º posición.

La penetración de la energía eólica en la oferta mundial de electricidad alcanzó el 3,4 %.

La capacidad acumulada de turbinas offshore ha superado los 8 GW, representando el 2% de la capacidad total instalada.

2.1.4. Ofertantes: competidores y clientes

El progreso de crecimiento de EEUU y Alemania, han supuesto cambios en el ranking mundial de los mayores proveedores de turbinas eólicas.⁶

⁶ Fuente: Energy Digital

- 1) Vestas [13,2%]⁷: la danesa consolida su 1º posición de proveedor de turbinas tras buenas y numerosas ventas tanto onshore como offshore. Su dedicación exclusiva a turbinas eólicas la coloca como el máximo proveedor de turbinas, con más de 60 GW instalados por todo el mundo, gracias a su dilatada experiencia desde 1898, comprometidos con la sostenibilidad del planeta.
- 2) Goldwind [10,3 %]: pasa de la 4º posición hasta la 2º, a pesar de su alto rendimiento en China, pero su poca a poca instalación en otros mercados como EEUU o Europa han lastrado su crecimiento.
- 3) Enercon [10,1 %]: sube 2 posiciones, gracias a su alta dependencia de su mercado local, Alemania, donde consolidó el 40 % de las turbinas instaladas en 2015. Le da mucha importancia a la ejecución de sus proyectos al tiempo establecido, sin retrasos ni errores, ofreciendo además un control de calidad exhaustivo a lo largo de todo el proceso de fabricación y ejecución.
- 4) Siemens [8 %]: mantiene su posición, gracias a sus fuertes ventas en el sector de offshore y el buen funcionamiento del mercado alemán. Siememes se centra en reducir el coste de las turbinas, fomentando su viabilidad económica independientemente de los subsidios y rebajas fiscales. Ofrecen mantenimiento durante toda su vida útil, asegurando un funcionamiento óptimo.
- 5) Suzlon Group [6,3 %]: baja una posición, pero se mantiene alto sobre todo gracias a sus operaciones en India. Tiene una oferta amplia, con un rango desde los 600 kW hasta los 6,15 MW de turbinas offshore.
- 6) GE [4,9 %]: General Electric se ha recuperado tras la renovación de las reducciones fiscales en los EEUU, pasando de la 5º posición hasta la 6. pionero en la innovación de la industria eólica, sus turbinas de 2 y 3 MW son las que mayor rendimiento eléctrico ofrecen, habiendo instalado más de 16500 turbinas por todo el mundo.
- 7) Gamesa [4,6 %]: la española ha conseguido un buen rendimiento gracias a las instalaciones en Sudamérica, China e India. Con más de 30 GW a lo largo de 45 países, ofrece tanto instalación como mantenimiento para turbinas con un valor de 19,5 GW, El mercado extranjero a España le supone el 88 % de sus ventas.
- 8) United Power [3,9 %]: baja una posición hasta el número 8 gracias a los MW instalados en China. Es una compañía estatal, líder mundial durante varios años. La compañía con sede en Beijing, recibe grandes subsidios. Su amplia gama de turbinas poseen una gran variedad de ajustes.
- 9) Ming Yang [3,7 %]: conserva su posición gracias al mercado local. Es el mayor proveedor de turbinas privado en China, pero el 5º del país, con solo 10 años de experiencia ha progresado enormemente.
- 10) Nordex [3,4 %]: provee turbinas desde 1985, con un gran crecimiento en los 90, instaló su primera turbina de 1 MW en 1995, basa su crecimiento en la fiabilidad, calidad y amplia oferta.

2.2. Diversificación, turbinas.

La industria de la energía eólica continúa demostrando su habilidad para evolucionar rápidamente y adaptarse a las demandas del mercado.

La potencia media de turbinas eólicas instaladas en 2015 creció ligeramente hasta los 1958 kW, la media más grande fue de Dinamarca con 2866 kW, seguido de Alemania con 2688 kW y tras este Reino Unido.

Por lo que el tamaño más estandarizado es el de 2 MW, que será el producto principal de esta planta industrial, siendo capaz de adaptarse a la demanda y ofrecer la posibilidad de ensamblar turbinas de hasta 6 MW.

Las turbinas multi-vatio de más de 2,5 MW continúan creciendo en número, representando el 18,5 % de las instalaciones de 2015 sobre las 17,5 % del 2014; las turbinas por debajo de 1,5 MW bajaron hasta el 1,5 % de las turbinas instaladas.

El tamaño del mercado de las turbinas de accionamiento directo (sin multiplicador) fue de 13,74 GW muy por encima de los 10,56 GW instalados en 2013. Sin embargo, como proporción del total global instalado fue del 28 % del total.

⁷ Indica el porcentaje del mercado que posee la compañía.

La venta y producción de turbinas es cada vez más representativa en mercados emergentes como Brasil, México, Chile, Uruguay, Europa del Este y África.

Los productores de turbinas deben hacer énfasis en la diversificación del producto, diseñando máquinas para la máxima producción de energía en zonas de vientos de baja velocidad, para operaciones en altitudes altas o climas fríos.

Las proveedoras originales de turbinas continúan con la evolución de rotores cada vez más grandes, esto está llevando a nuevos diseños, procesos de ensamblaje y de fabricación, estrategias para con los proveedores y asociaciones de proveedores.

Las torres siguen el progreso en los rotores, con palas cada vez más grandes, son el principal objetivo de la evolución de productos, seguido por torres más altas. Los proveedores de turbinas y de torres ofrecen cada año mejoras en acero tubular, láminas de acero atornilladas, hormigón, hormigón armado.

Los proveedores de turbinas continúan diversificando su negocio, abarcando no solo la producción de turbinas, sino la operación de las mismas, su ejecución in situ, el mantenimiento que requieren y otros servicios asociados a las mismas, así como las mejoras de rendimiento que requieran.

El número total de campos eólicos operados por los 15 mayores proveedores de turbinas es el 30 % del total, esto indica la tendencia de la aceptación comercial de los campos eólicos como activos con beneficios, la demanda de turbinas se aleja cada vez más de los principales proveedores de turbinas, decantándose por proveedores alternativos.

2.3. Futuro de la industria eólica

Se estima que de aquí a 4 años se instalarán 245.547 MW, el crecimiento medio anual de nuevas instalaciones comparado año a año es del 0,3 % de aumento, con un aumento de la capacidad total instalada del 13,2 % anual.

La distribución de la capacidad eólica instalada previsible por continentes será:

Continente	%
América	22,7
Asia-Pacífico	47,7
Europa	26,3
Otros	3,1

Tabla 6.- Capacidad eólica prevista a 2019 por continentes.

Este balance está en constante evolución en los países que apoyan las virtudes de las renovables mediante políticas, incluso en tiempos de crisis económica, por la inconstancia de apoyo político administrativa a la instalación de renovables. El colapso del mercado español en 2012, que antaño fue un fuerte mercado, es un claro ejemplo de la falta de apoyo gubernamental.

Se prevé que Alemania baje significativamente las instalaciones durante el 2016 debido a cambios en las estructuras incentivas de apoyo a las renovables, esto provocó una burbuja de 5,1 GW instalados durante el 2014, muy lejos de lo previsto. Las reformas que se llevarán a cabo, mediante reducciones fiscales en las tarifas a largo plazo, están diseñadas para moderar la instalación a unos 2,4-2,6 GW al año.

Una situación similar se da en China en 2015 con un record de 30,75 GW instalados, como resultado de acelerar las instalaciones antes de que las FIT descendan.

Un número de países emergentes europeos como Turquía, Polonia y Rumanía, tienen buenos rendimientos en comparación con los mercados ya consolidados de Reino Unido y Alemania.

El desarrollo de plataformas offshore fue más lento del esperado en 2015, debido a los retrasos durante su construcción y la conexión a red, el año 2015 ha visto campos eólicos comisionados y conectados a la red, impulsando las instalaciones offshore hasta los 4 GW globales, tendrá un aumento lento pero constante a lo largo

de los próximos 5 años en China y Europa.

En Latinoamérica, Brasil y México liderarán el mercado de la industria. Brasil será la segunda potencia eólica de América por detrás de EEUU, y México en función de cómo vaya el proceso de desregulación de su industria energética, se estima que puede superar las previsiones.

En África, el mayor mercado seguirá siendo Sudáfrica, pero aumentará la importancia de los países del Magreb, Marruecos, sobre todo.

2.4. Sub-proveedores

Los mayores proveedores de componentes en función del componente son para:

Cajas de Cambio:

- Winergy AG
- ZF Wind Power
- Moventas
- Bosch Rexroth
- Nanjing

Generadores:

- ABB
- Siemens Industry Sector
- Ingeteam
- Elin Motoren
- Leroy-Somer
- Yongji

Cojinetes y Ejes:

- SKF
- Schaeffler
- Rothe Erde
- Rollix
- Timken
- NSK
- Liebherr

2.5. Producción

La planta industrial está preparada para adaptarse a la demanda, con una producción estándar de 1 turbina de 2 MW al día, la producción de turbinas de mayor o menor tamaño influye poco en la producción, ya que el proceso es el mismo independientemente de la potencia. Con 249 días laborables en Andalucía, equivale a una producción estándar de 250 turbinas, pongamos que de media las turbinas son de 2 MW, la producción total en términos de potencia es de 500 MW; la producción mundial fue de 60,3 GW, por lo que la producción de la planta supone el 0,7874 % del total, una cantidad admisible para poder entrar en el mercado, y obtener

rentabilidad económica.

La planta puede absorber una demanda el doble de la estándar, duplicando la producción a 2 turbinas al día; o incluso duplicando los turnos o bien duplicando infraestructuras, insumos y personal, pueden producir el cuádruple de lo normal llegando a producir 4 turbinas al día con una capacidad total emitida de hasta 2 GW al año, necesitaríamos 8 centros de producción equivalentes a esta planta industrial para igualar la producción que realiza Gamesa, el mayor fabricante e instalador de turbinas de España.

Por el contrario, en el caso hipotético de que la demanda disminuyera, la planta industrial sería capaz de reducir el número de turbinas ensambladas a la mitad, ensamblando 1 turbina cada 2 días.

2.3. Oferta

Una turbina es el núcleo de un aerogenerador siendo la parte más imprescindible de todas, pero también es la más compleja técnicamente, eso requiere un coste que puede llegar a ser el 70% del coste del aerogenerador completo.

Como se vio en el capítulo 1, turbinas, subapartado 17, economía, con los aerogeneradores existe economía de escala, por lo que cuanto más alta sea la potencia, menor será el coste de la turbina y del aerogenerador, y por tanto aumentará notablemente el rendimiento €/kW que es lo que le interesa a posibles compradores.

Algunos ejemplos de turbinas y sus costes son:⁸

Potencia (kW)	Modelo	Precio (€)
55	Endurance E-3120	400000
800	Enercon E53/48/44	1750000
900	EWT DW61	1750000
1500	GE 1.5sle	3375000
2000-3000	Enercon E82	3875000

⁸ Fuente: renewablesfirst.co.uk

3. PROCESO DE ENSAMBLAJE

La turbina eólica como vimos previamente consigue transformar la energía mecánica del viento en energía eléctrica para el suministro.

Aunque no lo parezca debido a la diferencia con las palas del rotor o la torre, una turbina es enorme, mide 15,5 m de largo y un peso medio de 300 toneladas.

Las turbinas poseen más de 1500 componentes ya sean grandes o pequeños. Englobados a su vez en subsistemas que conforman la turbina.

Antes de ser enviado a producción el diseño de una turbina son sometidas a un riguroso ciclo de desarrollo del producto. El fabricante de equipos originales (OEM por sus siglas en inglés) recogerá todos los requisitos del sistema, los subsistemas de los componentes, ya sea requisitos funcionales, estéticos o normativos, que se precisan para el desarrollo del producto. Las diferentes partes y componentes son diseñados, testeados, validados y certificados durante una fase específica, para conseguir una turbina única que se diferencie del resto de turbinas que hay en el mercado.

Cuando se especifica un componente en concreto, el fabricante realiza ofertas a su lista de suministradores para que colaboren entre los dos produzcan ese componente de acuerdo con las especificaciones.

Para el ensamblaje de la turbina los fabricantes usan 2 métodos, o bien se usa una única célula de producción en la que concentran todos los medios de producción; o bien usan el lean manufacturing, donde el bastidor de la turbina va avanzando sobre una línea de producción y a medida que ésta avanza se le añaden los diferentes componentes.

En nuestro caso, el de una planta industrial de turbinas eólicas se escoge un proceso de producción de célula única en la que se concentran los subsistemas y las operaciones de ensamblaje, descrito posteriormente, que permite adecuarse a la demanda. Este proceso será el proceso de ensamblaje estándar, el proceso para producir el doble es más parecido al lean.

3.1. Proceso Productivo

A continuación, se explica cuáles son las operaciones fundamentales que permiten ensamblar una turbina.

3.1.1. Ensamblaje del Generador al Rotor

En este primer paso se ensamblan juntos el núcleo de la turbina, lo que produce la energía eléctrica: el generador junto al multiplicador que hace girar el rotor del generador, induciendo así corriente eléctrica.

3.1.2. Ensamblaje del eje de baja velocidad

El siguiente paso es el de añadir al subconjunto generador y multiplicador, el eje de baja velocidad que transmite el movimiento rotacional del buje hasta el multiplicador, al eje de baja velocidad se le incorpora el freno hidráulico, también conocido como sistema de bloqueo, adjunto a este y previo al mismo está el soporte principal o cojinete que evita en el eje vibraciones excesivas, que provengan del buje.

3.1.3. Test de giro

Los mecanismos que generan el movimiento rotacional necesario por el generador están ya todos reunidos, por lo tanto, se realiza un test que compruebe que estos subsistemas trabajen correctamente, que el freno funcione correctamente, que no haya vibraciones excesivas, que los mecanismos trabajen conjuntamente, que el multiplicador aumente las revoluciones, y que el generador induzca corriente; evaluando posibles fallos o defectos que provengan de fabricación o del propio ensamblaje.

3.1.4. Sistema de orientación y góndola

Lo que hay de la turbina hasta el momento se coloca sobre la carcasa inferior y ésta a su vez sobre el sistema de orientación, que permite a la góndola girar para recibir el máximo viento posible.

3.1.5. Subsistemas periféricos

Estos subsistemas engloban a: el transformador eléctrico, el sistema de control, así como el cableado eléctrico que precisan, también son necesarios el sistema hidráulico para frenado y giro, el sistema de refrigeración y el polipasto de servicio para poder elevar materiales en caso de reparación o mantenimiento

3.1.6. Test de giro y de servicio

Se realizan pruebas simulando las condiciones más desfavorables a las que la turbina se verá sometida a lo largo de su vida útil que pueden superar los 25 años. Se comprueba que funcione en conjunto correctamente, que se genere la potencia estipulada, que el transformador aumente la tensión inducida por el generador, que la góndola gire completamente, que no se produzcan ruidos excesivos, que el sistema de control trabaje en condiciones de servicio, comprobando a su vez las comunicaciones tanto internas como externas que permitan disponer de la turbina, también es necesario corroborar que el generador pueda actuar como motor, simulando condiciones de arranque y todo ello evaluando el rendimiento global de la instalación.

3.1.7. Carcasa Superior y Expedición

Cuando la turbina ha superado las pruebas de potencia y rendimiento, solo falta cubrir la parte superior con la carcasa para tener el aerogenerador completo, y se procede así a su expedición.

3.1.8. Comentarios

Mejora del control de calidad

Orden de operaciones acorde a los tiempos de producción exigidos

Siendo un ensamblaje de dentro a fuera, empezando por el núcleo de la turbina, al que se le van añadiendo los componentes periféricos.

3.2. Maquinaria y Operarios

Puente grúa

2 operarios 1 supervisor que además controla la grúa

1 operario de transportes

Escalera, plataforma elevadora

Carretilla elevadora, transporte pesado

Atornillador eléctrico, destornillador, alicates, multímetro, gato hidráulico

Ordenador

3.3. Diseño de las piezas para el ensamblaje

Las piezas se diseñan mediante experiencia y software para que factible su ensamblaje`.

Los 2 conceptos que influyen en el coste de ensamblaje de cualquier producto son

El número de partes del producto

La facilidad para manejar, insertar y fijar las piezas.

Por eso, algunas ventajas y desventajas que afectan al ensamblaje manual de piezas son las que siguen:

Ventajas:

Simetría

Accesibilidad

Chaflán

Desventajas:

Espesor

Visión Restringida

Peso

Sujeción

Un tiempo medio estimado para colocar tuercas y tornillos son 3.6 s por tornillo, si el tornillo está bien diseñado y el operario tiene cierta destreza y experiencia con su trabajo se puede llegar a reducir el tiempo de implantación del tornillo a los 2s.

4. LAYOUT

4.1. Consideraciones Previas

4.1.1. Factores Económicos

Quizás el fin último de todo proyecto industrial sea la obtención de un beneficio ya sea económico o social, para ello la planta industrial se diseña de una forma compatible con el mínimo capex y opex, coste de implantación y de operación, adecuado para la producción.

4.1.2. Consideraciones Humanas

Es necesario tener en cuenta factores psicológicos en función del ambiente que consigan el logro de la comodidad durante el trabajo; también se deben tener en cuenta factores fisiológicos: iluminación calefacción, aire acondicionado, comedores, vestuarios...

4.1.3. Consideraciones ecológicas

Ya que las plantas industriales son componentes del tejido industrial y son grandes emisores de contaminantes si no se tienen en cuenta y se corrige en consecuencia. Por ello es necesario considerar desde el diseño del proyecto todos los factores ambientales que influyen o puedan verse afectados por la implantación u operación del proyecto.

4.1.4. Consideraciones Estéticas

No sólo es suficiente con que una planta industrial cumpla los requisitos para la producción, sino que sin aumentar mucho el coste se puede dar una mejor imagen para la empresa a través del esteticismo de la obra.

4.2. Fases

Para establecer una implantación lo más adecuada posible realizamos el estudio en 5 fases, que hay que considerar y analizar.

Fase 1: definición del producto

Se define que producto se va a fabricar y en qué cantidades se va a fabricar.

En esta fase se incluye la factibilidad técnica y económica de la industria. Describiendo el producto y sus especificaciones técnicas. Se realiza un estudio de mercado, determinando la demanda y así mismo la cantidad que se va a producir, que es preciso para saber las dimensiones que tendrá la planta, y el proceso de producción que más se adecua al producto.

Ya hemos avanzado bastante sobre esta fase en puntos anteriores.

Fase 2: estudio del proceso industrial

La definición del proceso industrial, es decir, como ha de fabricarse.

Fase 3: determinación de los medios de producción

Estudio de los equipos, maquinaria y herramientas precisos para desarrollar el proceso.

Fase 4: determinación de los ciclos de fabricación e implantación de los elementos de trabajo

Como se usarán los medios o elementos de trabajo, maquinaria y otros equipos, así como las funciones que realiza cada operario.

Fase 5: control de la fabricación

Con el estudio de la implantación de una planta industrial se busca:

- 1- Minimizar inversiones en equipos
- 2- Minimizar tiempo total de producción
- 3- Utilizar el espacio disponible de la manera más eficaz posible
- 4- Disponer los medios para el máximo confort, satisfacción y seguridad del personal
- 5- Minimizar el coste de mantenimiento, manipulación de materiales
- 6- Minimizar la diversidad de tipos de equipo para la mantención
- 7- Mantener la flexibilidad de la implantación y de su operación
- 8- Facilitar el proceso productivo
- 9- Facilitar la estructura organizativa de la industria

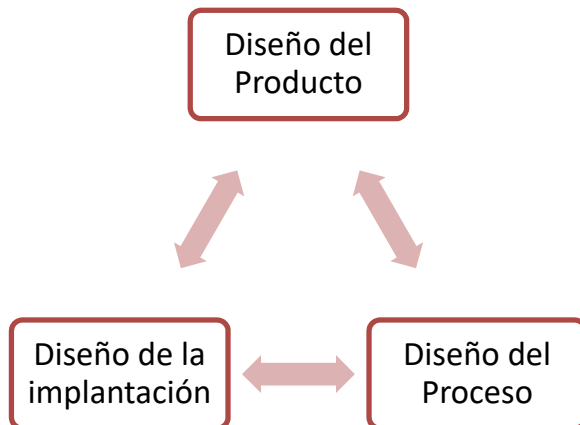
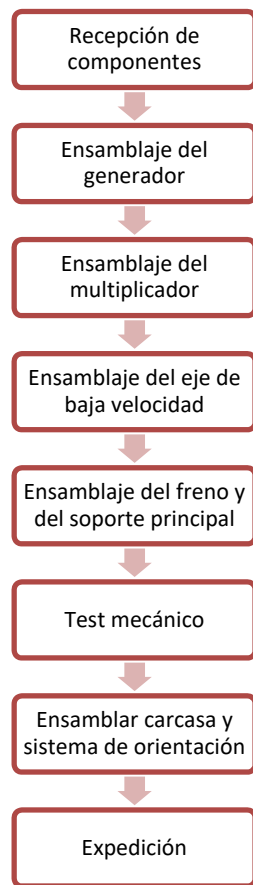


Diagrama 1. Interrelación entre el diseño del producto, el diseño del proceso y el diseño de la implantación.

4.3. Estudio del proceso industrial

El estudio del proceso comienza al recopilar bibliografía e información y estudiarla, obteniendo conclusiones y criterios. También es importante ver y comparar con otras industrias análogas y analizarlas. Estableciendo requisitos básicos y las secuencias del proceso industrial, que comienzan con un abastecimiento de materias primas e insumos que termina con el producto finalizando pasando por las operaciones de fabricación.

4.3.1. Organigrama del Proceso



Algoritmo 1 Organigrama del proceso productivo.

Programa derivado del proceso

Una vez estudiado el proceso de fabricación se puede establecer el programa de construcción necesario. Pueden determinarse las zonas o edificios para acometer la producción que se está estudiando.

Se necesitan dos zonas principales:

Nave de proceso: donde se ejecutan las tareas productivas de ensamblaje de turbinas y dónde también se realizan las pruebas de carga.

Almacén: 2 naves adosadas a la anterior donde se almacena la producción y los componentes de la turbina necesarios para ensamblarlas, antes de ser enviadas, además el almacén hace las veces de taller de mantenimiento.

Definición de los medios a utilizar en la producción

Se definen los medios tanto humanos como materiales.

Factor Humano: determinar la función que tiene cada persona en el proceso productivo y su relación con el proceso. Así como definir un lay out en función de los trabajadores o bien colocar a las personas en función del lay out.

En el lay out se deben considerar factores psicológicos que favorecen el confort de los operarios, como el color, el aire acondicionado, la supresión de ruidos... para conseguir el máximo rendimiento posible.

Factores Materiales: determinar los medios materiales de trabajo que se van a usar. Dentro de los medios de

trabajo se incluyen los talleres de reparación y mantenimientos y los de preparación de útiles.

Ventajas y limitaciones de la implantación de emplazamiento único

Ventajas

Al corresponder la implantación a la secuencia de operaciones, se obtiene unas líneas de tráfico más lógicas.

Como el trabajo de un proceso alimenta directamente el siguiente, los inventarios de productos en fabricación se reducen.

Como las máquinas y componentes se disponen de forma que minimicen distancias entre operaciones consecutivas, se reduce la manipulación de materiales, y con ello los costes de transporte interno.

No se necesita mucha habilidad en los obreros que atienden la línea; por tanto, su entrenamiento es corto, simple y barato.

Es posible una planificación de producción y control de la misma muy simples.

Se necesita menos espacio para el trabajo en proceso o en almacenamiento temporal.

Desventajas

El ritmo de producción viene dado por la operación o desplazamiento más lento.

4.4. Organización de los ciclos de producción

El estudio del ciclo de fabricación permite minimizar los transportes, y por consiguiente el tiempo de fabricación real. Para realizar un buen estudio de los ciclos de producción es necesidad previa el análisis de la técnica operatoria que se emplea para el proceso así su adaptación al lugar que se va a disponer.

4.4.1. Definiciones Previas

Ciclo de fabricación

Conjunto de operaciones que, partiendo de una materia prima o un producto semiacabado, desde un estado A pasamos a producir un estado B, este estado B puede ser el estado final o bien un estado intermedio, secundario de la fabricación, de forma que se integre en otro ciclo pasando a él en forma de materia prima; en ese caso ese segundo ciclo estará íntimamente relacionado con el primero.

Aquí hay que tener en cuenta los tiempos de fabricación de cada máquina o etapa para evitar que haya máquinas que provoquen cuellos de botella.

En el caso que nos atañe el ciclo del producto será una cadena de ensamblaje, que son un conjunto de operaciones de trabajos sucesivos hasta llegar al estado final del ciclo, por lo tanto, el ciclo es un procedimiento y la cadena de trabajo es un medio de producción.

4.4.2. Mantenimiento y organización de los transportes internos

Manutención: manipulación de productos, cualquier operación de transporte, manipulación o almacenaje de los materiales o productos ya fabricados o en curso de fabricación, que no aportan valor, pero si un coste.

En la mayoría de los ciclos de fabricación, la manipulación ocupa entre el 65 y el 85% del tiempo total, y esta cifra supone el 25% del coste total. Todas las operaciones dedicadas a la manutención son improductivas y por

ello, al reducir el tiempo de los movimientos de piezas, se reduce el coste de producción de forma drástica.

Al proyecta esta planta industrial, se tendrá en cuenta desde el principio la forma para resolver la manipulación, realizando estudios de todos los movimientos necesarios durante el ciclo y de los medios que deben disponerse para realizarlos; de sus líneas de tráfico y la organización de puntos de parada o puntos de rotura del ciclo.

Primeramente, analizamos que tipo de materia se debe transportar, en nuestro caso serán piezas muy pesadas de varias toneladas, por lo que hará falta un puente grúa para elevarlas y desplazarlas.

El segundo estudio a realizar es el de la naturaleza de los movimientos, es decir, como se va a realizar cada movimiento.

Para lo que nos importa que es la turbina elegimos el desplazamiento mínimo de la matriz a través puente grúa al que se le añaden las piezas suspendidas a través de puentes grúa desde las zonas limítrofes.

La automatización completa de la fábrica es difícil de conseguir ya que en nuestra planta vamos a ensamblar distintas turbinas con potencias, tamaños, fabricantes diversos, la automatización sale rentable cuando se producen en serie miles de productos iguales. Lo que se prevé es el camino a seguir y los movimientos, el criterio del operario será el que determine las operaciones, parada, arranque.

Medios de aprehensión: gancho, o electroimán. Hasta una altura máxima de 8 m.

Medios de transporte: el sistema de transporte principal consiste en un puente grúa con una capacidad de peso de hasta 30 toneladas y medios de aprehensión secundarios: carretilla elevadora, grúa móvil, carro para pallets, con los que se mueven los componentes secundarios o al personal.

Los requisitos de peso son un máximo de 30 toneladas.

4.4.2.1. Control de la producción:

Esta fase es imprescindible y requisito necesario previo paso para enviar las turbinas terminadas.

El control de producción asegura que la turbina tenga la calidad que se le exige, para ello se incluye en la implantación un banco de pruebas que haga funcionar a la turbina como si estuviera en condiciones de trabajo que se le exigirá durante su vida útil.

Instalaciones Auxiliares, como instalaciones eléctricas, de aire comprimido, instalaciones hidráulicas, protección contra incendios etc. Precisan de fusibles, cuadros de mando y protección, multímetros, manómetros, válvulas de paso, interruptores de encendido y apagado, para ejecutar las labores de producción.

Almacén

Que guarde materias primas, productos semiacabado, productos terminados y herramientas, útiles y piezas de recambio o de repuesto. Materias, productos semiterminados, y productos acabados van cada uno en naves diferentes, las herramientas y demás se útiles dentro de la fábrica, la maquinaria móvil como las carretillas descansan en una zona de carga de baterías habilitada para ello en la nave de almacenamiento.

Las dimensiones del almacén vienen impuestas por la capacidad de almacenamiento necesaria, y es importante ya que las operaciones que se realizan ahí tienen coste sin añadir valor al producto, y para ello conseguir una buena eficacia y rendimiento a través de un óptimo diseño.

Servicios para el personal

Oficina, donde se ejecutan labores administrativas como archivos, reuniones, labores comerciales o trabajo de gestión interno o de recursos humanos.

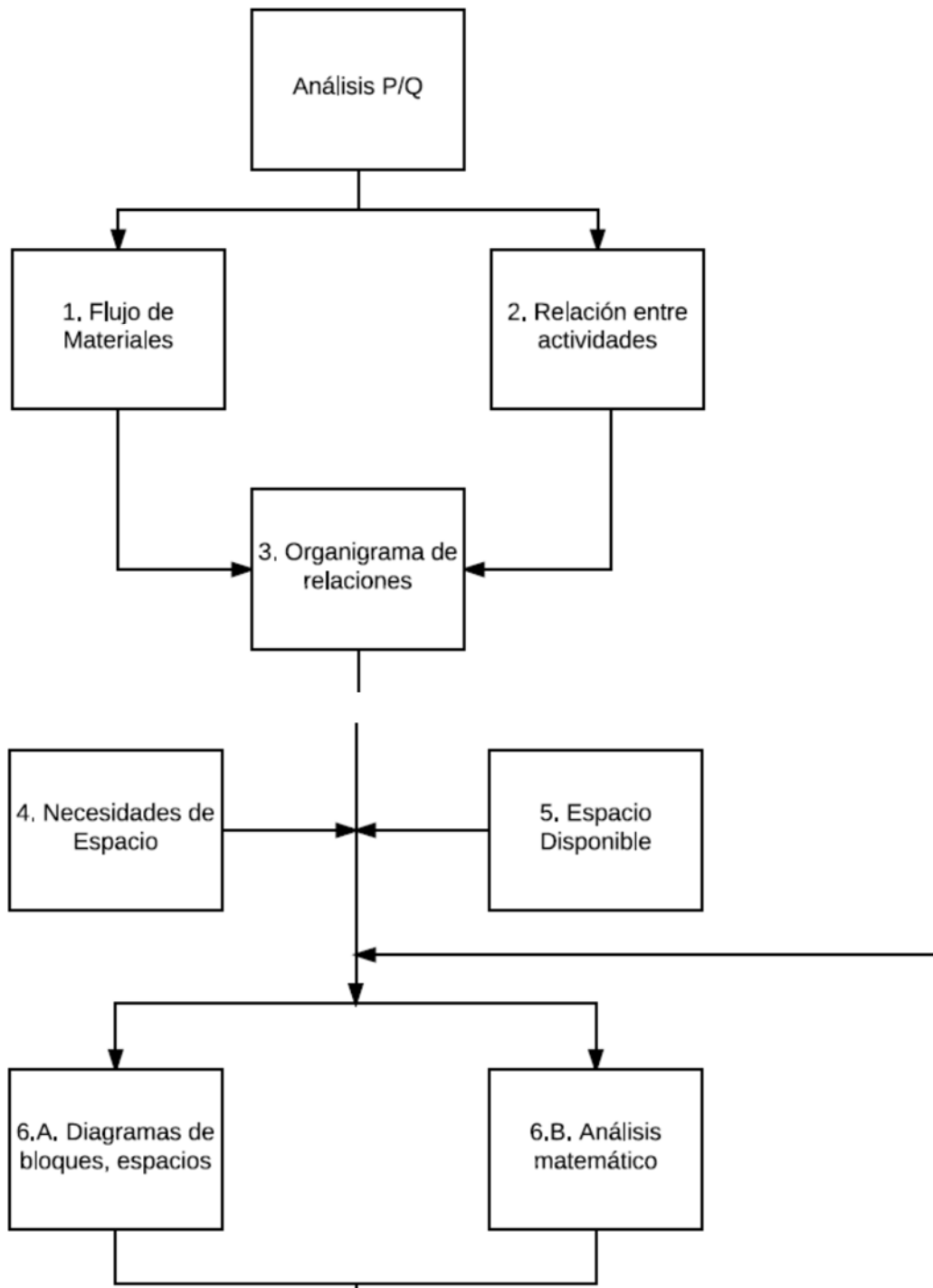
Comedor, para que los empleados puedan alimentarse y ejercer su trabajo con sus necesidades alimentarias satisfechas.

Baños, para que los empleados satisfagan sus necesidades biológicas de excreción y de higiene.

Botiquín

4.4.2.2. Prediseño del Layout de la Planta Industrial

Se usa la metodología SLP es la forma lógica de implantar tanto unidades básicas como todo el conjunto de la planta industrial.



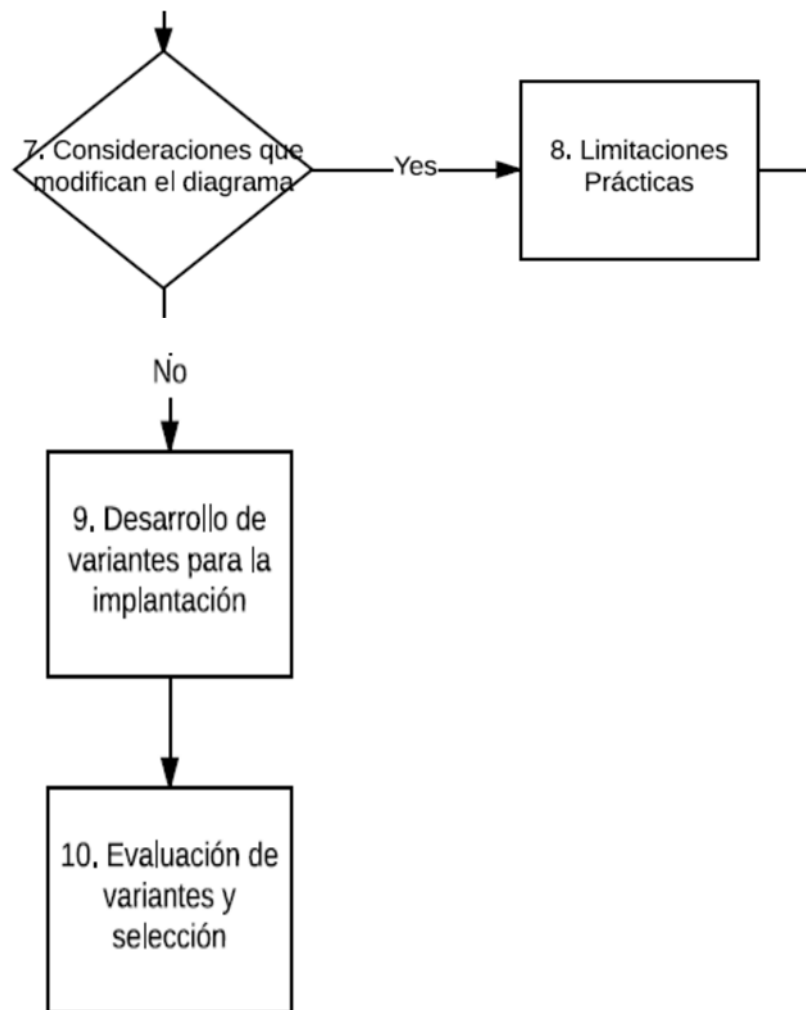


Ilustración 3 Método SLP

0. La primera etapa de este método es el **análisis P/Q** de producto-cantidad, que sirve de base para elegir si es más relevante el flujo de materiales o la relación entre actividades, en este caso con un diagrama P/Q donde se fabrican cantidades semejantes de pocos productos diferentes y el proceso de ensamblaje es sobre un punto fijo, es el flujo de materiales lo que impera sobre la relación entre actividades.

Esta designación última se ha obtenido a través de la gráfica de rectas secantes que indica la importancia de cada procedimiento o bien el recorrido bien la relación entre actividades según las variaciones en el tipo de trabajo realizado, al encontrarse en una industria donde se manipulan elementos pesados y el almacenamiento y manutención de productos puede suponer un problema, es preciso hacer hincapié en el recorrido de los productos es decir el bloque 1 sobre el bloque 2 relación entre actividades.

1. En el estudio de **flujo de materiales** evaluamos el recorrido de los productos y junto con el diagrama relacional de actividades que se retroalimentan entre ellas, se establece la proximidad con la que se implantan los diversos sectores, actividades o funciones. Al ser los materiales importantes la base esencial para determinar las relaciones entre los sectores, incluidos los sectores de servicios, es el recorrido; pero siempre debe usarse conjuntamente los dos procedimientos desde el principio hasta el final.

2. Mediante el diagrama de **relaciones entre actividades**, ya sea con el organigrama o la matriz de relación entre actividades podemos evaluar la importancia que tienen algunas actividades, ya sean productivas, auxiliares o sociales, respecto al resto, cuál debe ser la proximidad relativa, o bien si es mejor lo contrario, alejar unas de otras, y así integrar todas ellas en un circuito lógico donde se minimicen las distancias a recorrer, tanto por los materiales como por las personas, y se optimicen las relaciones entre actividades.

Clase	Relación
A	Proximidad absolutamente importante
E	Proximidad especialmente importante
I	Aproximación importante
O	Aproximación ordinaria
U	Proximidad sin importancia
X	Proximidad no deseable

Tabla 7 Relaciones entre actividades

Las consideraciones llevadas a cabo para establecer el diagrama son:

- a) Las actividades que deben estar próximas entre sí son: todas las que tienen que ver con el ensamblaje, para ahorrar tiempos de ejecución y aumentar así la productividad.
- b) Las actividades que deben estar adyacentes son: recepción junto a ensamblaje, y ensamblaje junto a pruebas de funcionamiento. Para reducir las distancias y tiempos de transporte de productos.
- c) Actividades que deben situarse alejadas entre sí: almacenamiento del resto: recepción, ensamblaje y pruebas, ya que estará en un edificio aparte y así aprovechamos el espacio útil y evitamos interferencia con las otras actividades.
- d) Actividades estrechamente relacionadas entre sí: supervisión junto a recepción, ensamblaje y pruebas.

4.5. Instalaciones Auxiliares

Las instalaciones descritas a continuación enumeran los servicios básicos de los que precisa la fábrica para poder funcionar correctamente, junto a una breve descripción de su utilidad en la planta industrial o en el proceso integral.

- 1) Alumbrado: es imprescindible una correcta iluminación para poder realizar cualquier operación de forma correcta, la luz necesaria dependerá de las acciones y el uso que se den en cada espacio. Tanto en interiores como exteriores.
- 2) Electricidad: para la gran mayoría de operaciones que se realizan a lo largo de todo el proceso de ensamblaje de turbinas, se necesita la electricidad, puente grúa, la maquinaria o las herramientas precisan de electricidad ya sea de baja o media tensión.
- 3) Ventilación: para mantener cierta calidad del aire y así cuidar de la salubridad de los operarios que trabajen en las naves es importante mantener la nave ventilada y así renovar el aire.

- 4) Cerramientos: para proteger del medio ambiente las naves y todo su interior se necesitan envolventes tanto verticales como las paredes como horizontal, cubierta y suelo.
- 5) Suministro de Aguas: tanto potable como sin potabilizar para la higiene de los empleados, limpieza del local, de componentes o productos, o en caso de necesidad.
- 6) Evacuación de Aguas: en caso de lluvia o nieve, es conveniente tener un sistema que permita salir las posibles acumulaciones en cubierta de las aguas que ahí se depositen. No sólo las aguas atmosféricas, sino posibles aguas que puedan fluir dentro de las naves, por ejemplo, para limpieza.
- 7) Saneamiento: para mantener las condiciones higiénicas que se exigen en entornos industriales.
- 8) Telecomunicaciones: para comunicarse tanto con el exterior como para las comunicaciones internas entre empleados.
- 9) Protección Contra Incendios: para la seguridad en caso de fuego incontrolado.
- 10) Infraestructuras de transporte: se necesitan carreteras y caminos para la circulación de camiones, coches, carretillas ya sea en el interior de las naves o en el exterior.
- 11) Aire Comprimido: algunas herramientas funcionan a base de aire comprimido, así como la limpieza de algunas piezas que no se deben mojar.

4.6. Implantación

Una vez descritas las necesidades que precisan la planta para poder funcionar correctamente y de forma óptima, se diseña una implantación o lay out que recoja todos los requisitos que se han ido planteando a lo largo de los puntos anteriores.

4.6.1. Localización

Para cumplimentar las necesidades de exportación definidas en el estudio de mercado, con una proyección internacional, designamos que la implantación esté localizada en zona franca, en concreto la zona franca del puerto de Sevilla. La zona franca representa ventajas fiscales en ahorro de impuestos, tanto para las exportaciones, como las importaciones.

Posee buenas comunicaciones e infraestructuras de transporte, por carretera y marítimo a través del puerto fluvial de Sevilla. El polígono industrial tiene calles anchas que permiten el tránsito de camiones. La parcela escogida cumplimenta las necesidades de espacio.

Hay industrias auxiliares que pueden suplir de suministros, componente, servicios, herramientas en caso de necesitarlas.

El polígono dispone de las instalaciones que la nave precisa para la producción.

Algunas de las ventajas de la zona franca en materia de impuestos son:

- 1) Se está exento de pagar por aranceles a las importaciones y del impuesto sobre el valor añadido IVA, mientras los componentes que se ensamblan no salgan de la zona franca.
- 2) Cualquier venta o transacción entre industrias dentro de zonas francas no han de pagar IVA.
- 3) Exención del IRPF para los trabajadores, que se supedita a la persona jurídica de la zona franca.
- 4) Ahorro de impuestos en pólizas de seguros, certificaciones o acreditaciones.
- 5) La zona franca ofrece cierta seguridad financiera y jurídica, ya que está sujeta a parámetros diferentes que el resto de sociedades fuera de la zona franca.
- 6) La zona franca es beneficiaria del impuesto de sociedades devengado, invirtiendo ese impuesto de sociedades en la financiación de la propia zona franca de Sevilla.
- 7) Beneficios financieros en materia de cambio de divisas, repatriación de fondos y financiación externa.
- 8) Es posible el almacenamiento indefinido de mercancías, productos terminados o materias primas, sin coste fiscal.

4.6.1.2. Emplazamiento

La localización exacta será Ctra. La Esclusa, 7, Sevilla, España.

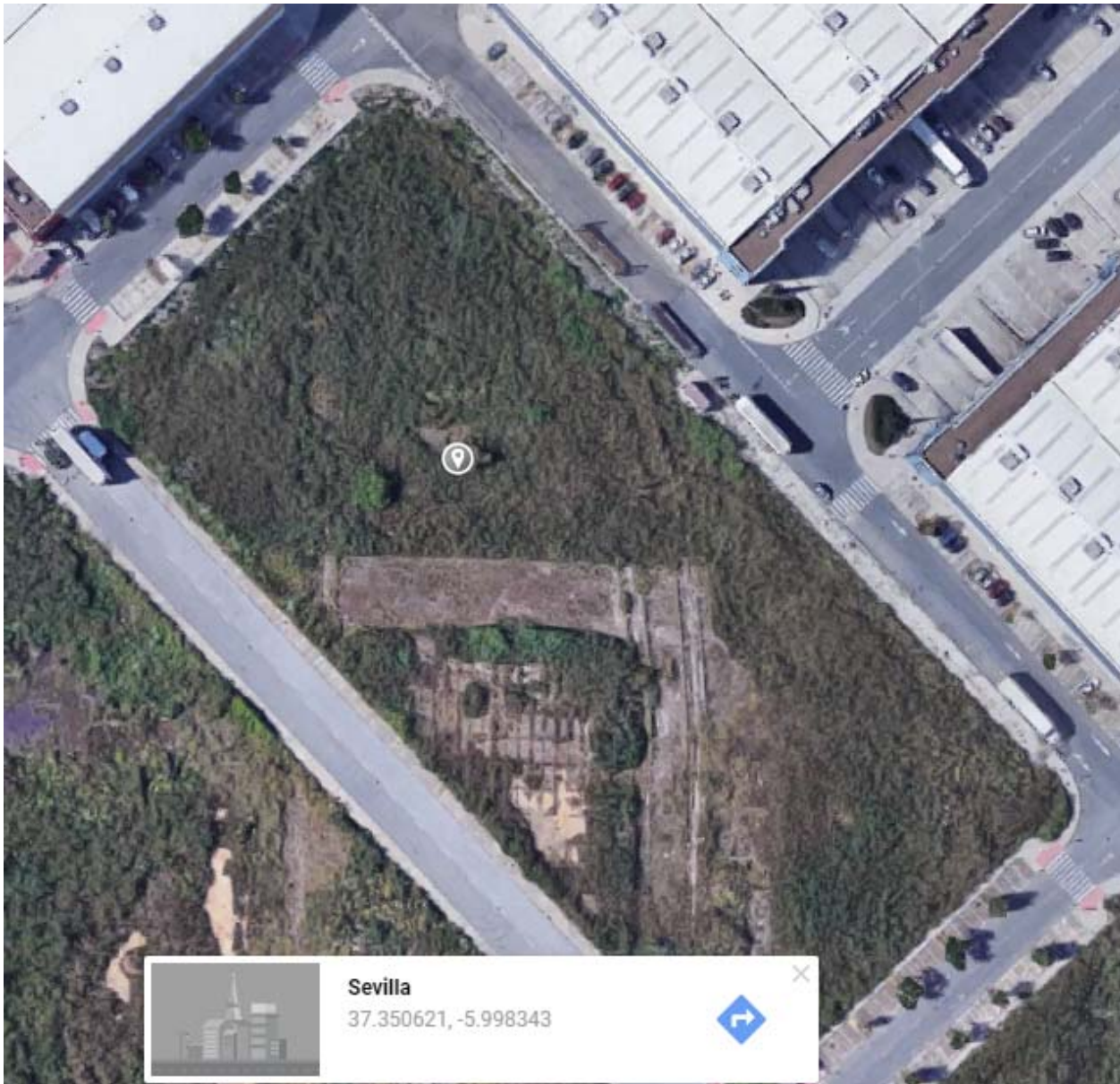


Ilustración 4.- Ubicación ende la planta industrial



Ilustración 5 Vista con perspectiva de la ubicación



Ilustración 6.- Vista en planta de la parcela de localización

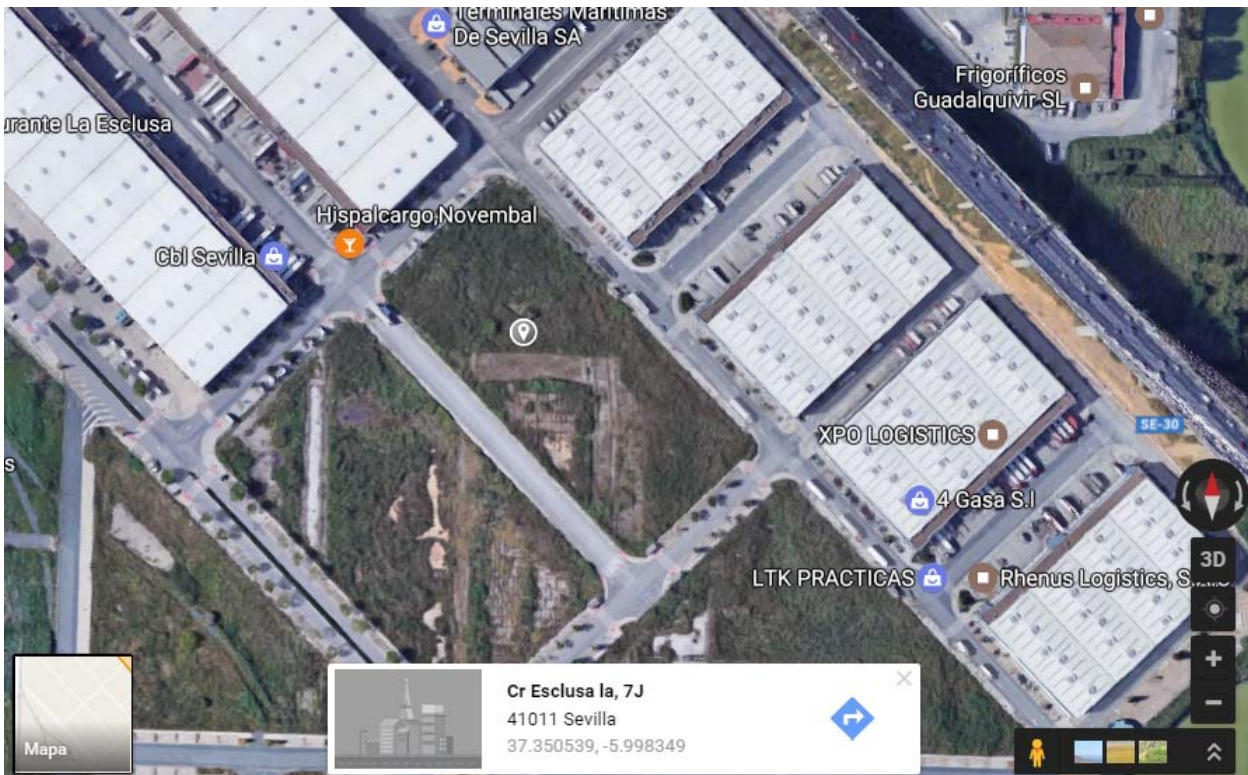


Ilustración 7.- Vista en planta alejada

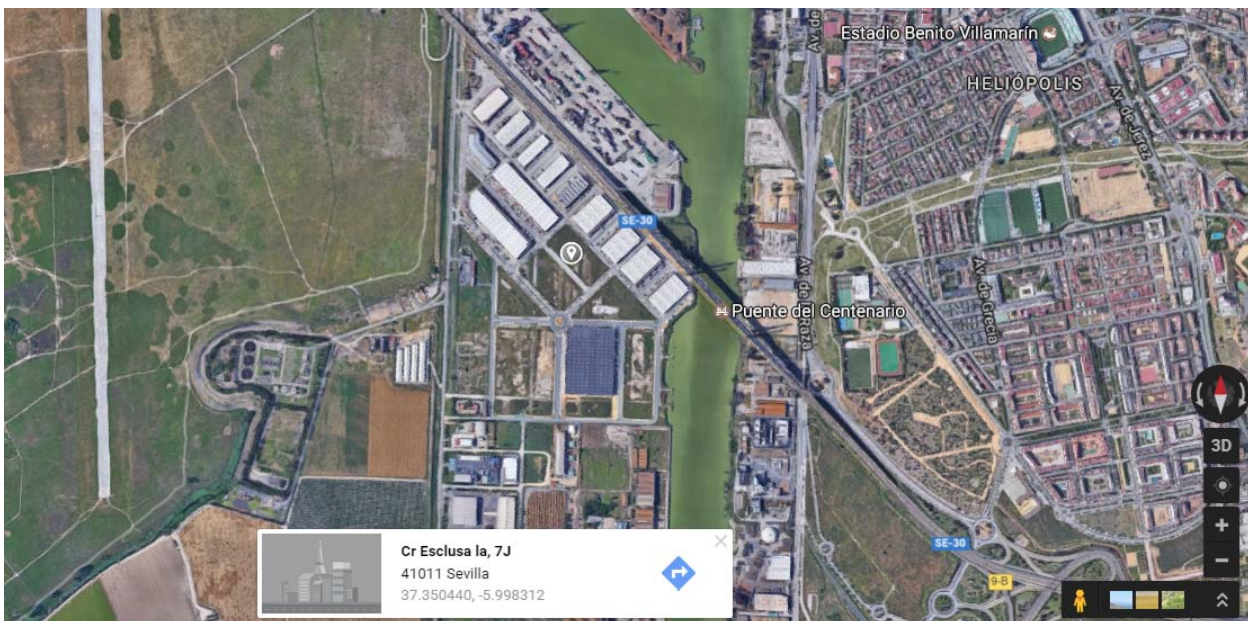


Ilustración 8.- Vista del polígono



Ilustración 9.- Vista de la ubicación en España

Esta parcela cumple con los requisitos de espacio las dimensiones del terreno son de $90 \times 200 = 18000$ m²

La planta industrial requiere de un mínimo de 3 naves de 60×30 m² = 1800 m² hacen un total de 5400 m²

Oficinas de $30 \times 60 = 1800$ m²

Espacio para instalaciones como maquinas refrigerantes, depósitos de agua, transformadores de corriente de $30 \times 30 = 900$ m²

Parking, viales, playa para camiones

Así quedará la nave implantada sobre la parcela.

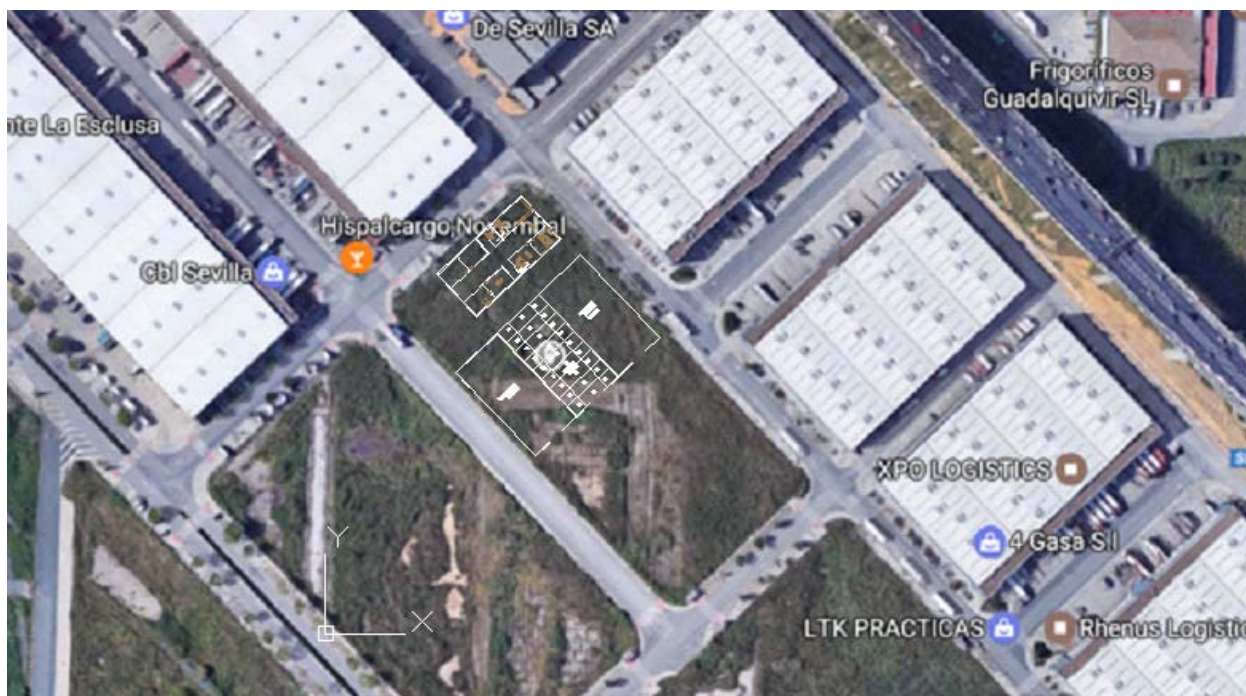


Ilustración 10.- Vista de pájaro de la nave industrial en el polígono



Ilustración 11.- Vista en planta de la nave industria en la parcela

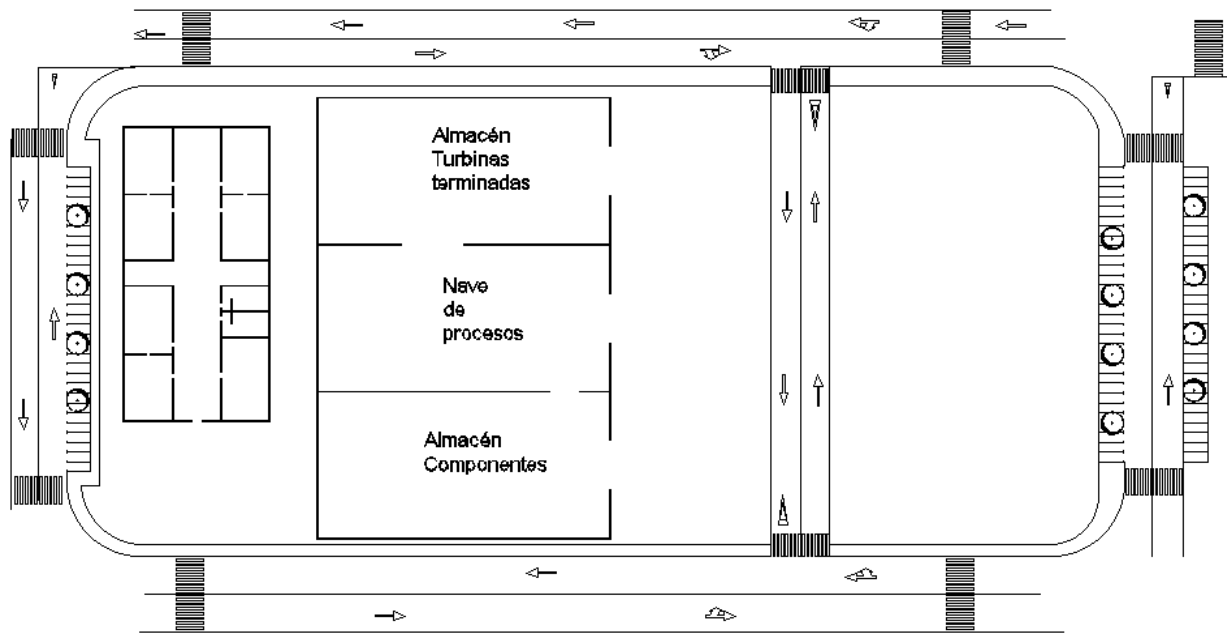


Ilustración 12.- Representación de la nave industrial con viales de transporte

4.6.2. Organización del Espacio

De todo el lay out hay 4 grandes bloques:

4.6.2.1. Oficinas

con multitud de habitáculos y espacios se encarga de dividir el trabajo administrativo y ofrecer las comodidades y necesidades que precisan los empleados para cumplir con su trabajo.

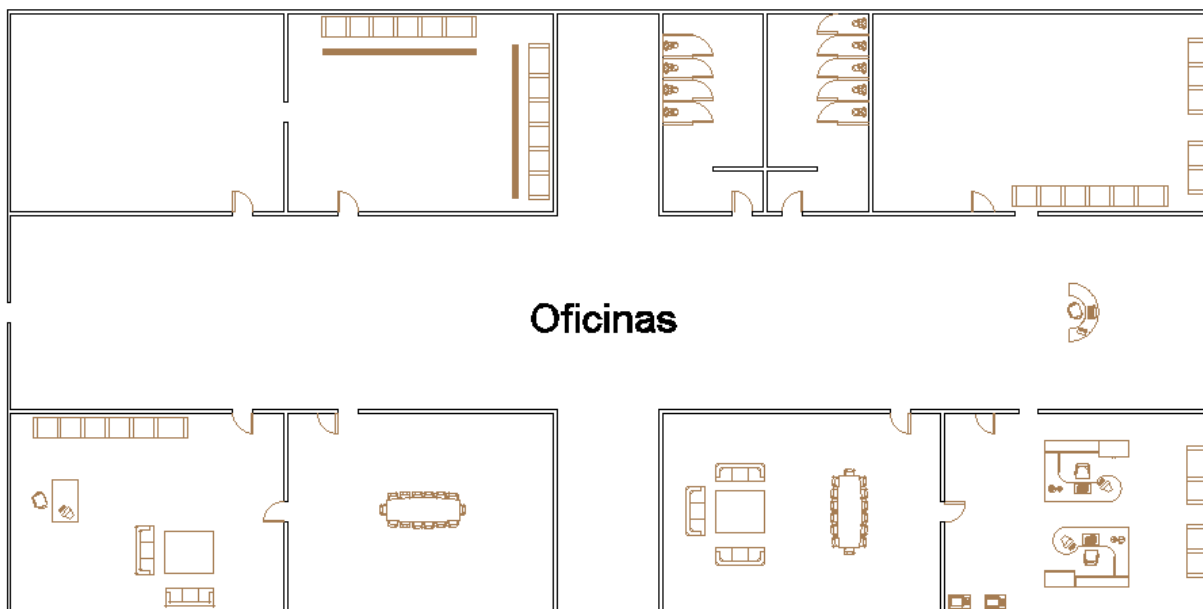


Ilustración 13.- Planos de la oficinas

Las oficinas están formadas por 4 secciones, divididas entre sí mediante un corredor y pasillos, el pasillo central divide en 2 hemisferios las oficinas, el hemisferio inferior está destinado al espacio de trabajo; ala derecha hay una sala con 2 escritorios de trabajo cada una de ellas con un ordenador personal, en esta sala también hay elementos auxiliares que permiten ejecutar las tareas a desempeñar como son las estanterías para guardar documentación o archivos, o cualquier objeto que pueda ser depositado en los mismos, y otros periféricos como son la impresora y el escáner o fotocopiadora que desempeñan una labor crucial en la difusión de la información; anexa a esta sala de trabajo hay un office que permite a estos empleados descansar o comer, esta office cuenta con una gran mesa comedor para reuniones y una mesa baja junto a 3 sofás para descansar; al otro lado, al lado izquierdo hay un cuarto que está destinada al director de la planta, posee un escritorio con ordenador y una mesilla con sofás, este espacio tiene acceso directo a la sala de reuniones.

En el hemisferio norte de derecha a izquierda encontramos: un archivo donde guardar documentos, albaranes, planos, presupuestos, cuentas de resultados y demás documentos en general que puedan y deban ser almacenados, este espacio puede funcionar como espacio de reunión multiuso, donde se puedan reunir los trabajadores para reuniones o bien para presentaciones.

Próximo al archivo y espacio multiuso, hay un baño diferenciado para hombres y para mujeres, con 4 y 5 urinales respectivamente y un lavabo cada uno.

Al otro lado del pasillo que conecta con la fábrica, hay un vestuario para que los operarios se cambien de ropa al entrar y al salir de la fábrica, y así no manchar la ropa personal y vestir la ropa reglamentaria equipándose con los equipos de protección individual, los conocidos como EPI, además mediante armarios se puede así guardar objetos de valor como cartera, teléfono, reloj y demás en armarios para ello.

Junto a los vestuarios se encuentra la cocina y comedor para preparar alguna comida, tomar un café, o té o cualquier snack.

4.6.2.2. Naves

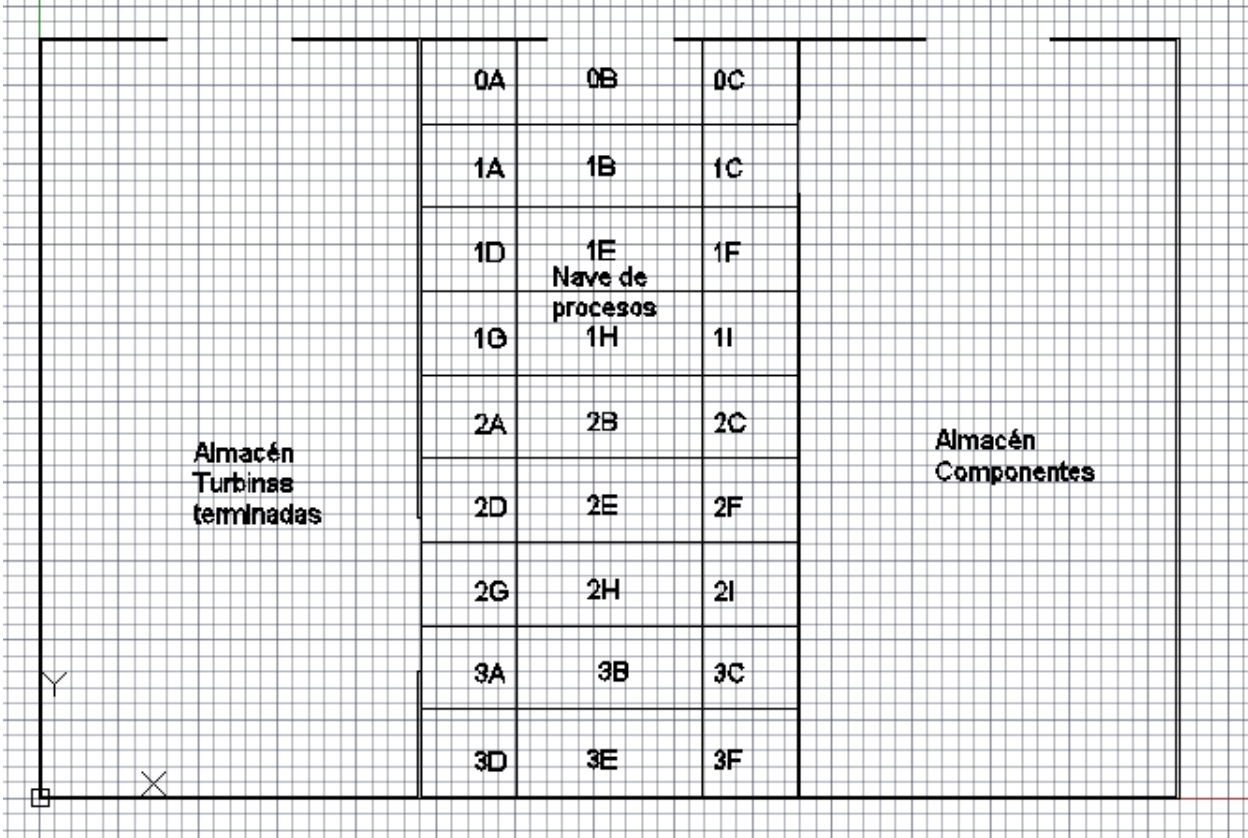


Ilustración 14.- Naves Industriales

Son 3 las naves que conforman la planta industrial: almacén de componentes, nave de procesos, almacén de turbinas.

Las 2 naves de almacenaje, la de componentes y la de turbinas giran en torno a la nave de procesos, por ello es la nave central y por eso es el eje central de la planta industrial. Para facilitar el tránsito de componentes y productos están conectadas las naves entre sí mediante caminos de rodillos.

Comencemos por describir las naves dedicadas al almacenaje

En la nave de almacén de componentes, están depositados los componentes de la turbina necesarios para ensamblar el aerogenerador completo, debido a que la turbina ocupa más espacio cuando está fraccionada en sus partes que cuando está completa, en la nave de almacenaje de componentes algunos mecanismos se almacenan en estanterías, para transportarlas dentro de la nave según el peso se empleará o bien un puente grúa para los elementos más pesados o voluminosos con capacidad de hasta 30 toneladas y para los elementos más manejables por ligereza se usa carretillas elevadoras, conducidas por un operario.

En la nave de almacenaje de turbinas se depositan las turbinas una vez finalizadas, las turbinas más comercializadas y que serán las más producidas son las de 2 MW, estas turbinas ocupan un espacio de $4,2 \times 7,4 \text{ m}^2$ que son $30,24 \text{ m}^2$, la nave de almacenaje de turbinas, descontando el espacio que ocupa el camino de rodillos y la zona para expedir turbinas mediante camiones posee un espacio útil de hasta 1371 m^2 por lo que haciendo cálculos se podrían almacenar hasta 45 turbinas si fuera necesario, pero no es una cantidad que vaya a ser muy necesaria, lo normal es tener en almacenaje unas 20 turbinas de 2 MW. Para mover las turbinas dentro de esta nave hay un puente grúa de hasta 30 toneladas de capacidad. Para expedir las turbinas entran camiones a la zona de la nave frontal que da al exterior mediante una gran puerta, estos camiones recogen las turbinas y se las llevan.

La nave de procesos, es en sí el núcleo de la planta industrial, se encarga de realizar el proceso de ensamblaje. Las naves de almacenaje, continuas a la nave de procesos, son por tanto auxiliares a ésta, para conseguir una mayor productividad se diseña de forma que la implantación no genere cuellos de botella durante el proceso de ensamblaje.

Con todo hay que tener en cuenta el espacio que necesitan las carretillas para guardarlas y recargarlas al finalizar la jornada laboral, así como el espacio perdido en almacenaje secundario en racks de estanterías, donde se guardan pequeñas piezas como elementos de tornillería, recambios de herramientas, y las propias herramientas.

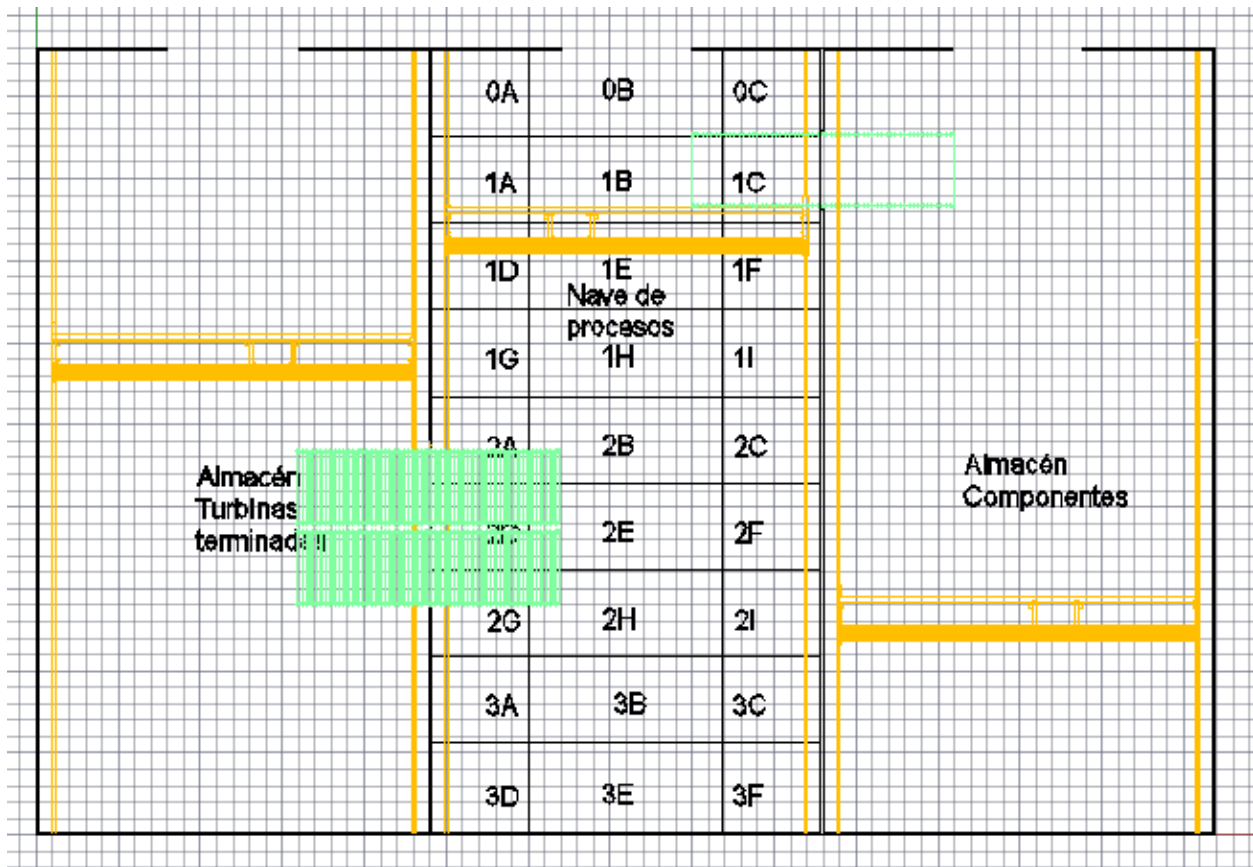


Ilustración 15.- Planos de naves puente grúa y camino de rodillos

La nave de procesos se ha organizado formando 4 grandes zonas

Zona 0: zona de recepción y expedición. En esta zona se reciben y envían componentes, herramientas o materiales que sean necesarios durante el proceso de ensamblaje, esta zona tiene el tamaño que necesita un camión para introducir cualquier carga, por eso esta zona está al principio de la nave dando al exterior y junto a una puerta.

Zona 1: en esta zona se reciben componentes de la nave de almacenaje de componentes a través del camino de rodillos 1, además en esta zona sirve para realizar algunas maniobras con las herramientas de los componentes, de la turbina o de herramientas.

Zona 2: esta zona es la zona principal de operaciones, donde se ensambla la turbina, tiene orificios en el suelo de cada subzona en las que se ensamblan distintas partes de la turbina, estas perforaciones sirven para posicionar y fijar a la superficie. Las celdas centrales son donde se ejecutan las tareas de ensamblaje ya que son las más accesibles y las que minimizan los desplazamientos internos de materiales. Dejando las posiciones más externas, las que colindan con los laterales para almacenar los componentes que serán ensamblados en la turbina próximamente.

En la zona 2E se realizan las principales operaciones como por ejemplo ensamblar el generador, el multiplicador, el eje de baja velocidad, los frenos, cojinete principal y demás componentes que suponen el núcleo de la turbina. Estos componentes están colocados próximos a esta posición para reducir al mínimo los desplazamientos de componentes, reduciendo también los tiempos de ejecución. Como por ejemplo en las posiciones 2F y 2C están los componentes antes mencionado.

En 2B se ensamblan los últimos acabados, las carcasas y el sistema de giro, y en 2H se posiciona la turbina para realizar las pruebas de rendimiento. Además, en 2D a la izquierda de 2E está el segundo camino de rodillos, que conecta las turbinas terminadas de la nave de procesos con el almacén de turbinas esta posición para el camino de rodillos se escoge de forma que se reduzcan las distancias de turbinas.

Zona 3: en esta área está situada la máquina de pruebas para poder realizar el test de rendimiento, esta máquina debido a la potencia que debe suministrar es masiva ocupando todo un cuadrante, este equipo además sirve para controlar la turbina en acción midiendo los parámetros que indican el desempeño de la turbina. En esta zona además se deja espacio para herramientas, útiles o instalaciones.

5. PROCESO

5.0. Conceptos Básicos

El proceso ha sido diseñado de forma que se reduzcan los movimientos internos, y los tiempos de ejecución de las tareas para que el proceso integral sea lo más eficiente posible, como venimos diciendo desde temas anteriores, la clave en este proceso son los transportes internos, que cada componente esté disponible para el ensamblaje en el momento preciso.

Este proceso de ensamblaje es flexible en función de la demanda, modificando las interdependencias entre actividades podemos aumentar la productividad o ralentizarla en función de cuantas turbinas queremos producir en que espacio de tiempo.

Hay 3 grandes grupos de actividades:

- Transporte de componentes
- Ensamblaje de Turbina
- Pruebas de rendimiento

Se ha diseñado el proceso de forma que se necesiten 3 operarios trabajando todos a la vez, de forma simultánea, 2 operarios son necesarios para elevar, transportar y colocar piezas y productos, y un tercero de supervisión y apoyo.

Relaciones entre Actividades

Para la producción estándar se opta por una relación de fin a comienzo entre transporte de componentes (A) y ensamblaje de turbinas (B) y lo mismo, una relación de fin a comienzo, entre el ensamblaje de turbinas (B) y las pruebas de rendimiento (C).

Para acelerar la producción las tareas (A) y (B) tienen una relación de comienzo a comienzo (ss) entre sí, de esta forma mientras van llegando los componentes estos se ensamblan a la turbina a medida que van llegando a la nave de procesos y la tarea (B) y (C) son siempre consecutivas, por lo que tendrán siempre una relación de fin a comienzo (fs) entre sí.

La relación de fin a comienzo (fs) indica que la actividad (B) no puede comenzar hasta que la tarea (A) haya terminado.

La relación de comienzo a comienzo (ss) indica que la tarea (B) no puede empezar hasta que (A) haya empezado antes.

Casi todas las operaciones que se realizan tienen una relación de actividad de fin a comienzo (fs).

5.1. Proceso operación por operación

A continuación, se detalla paso a paso, las operaciones a realizar para ensamblar una turbina, este proceso ha sido diseñado de forma que se minimicen los transportes internos, el número de operaciones, el personal necesario, y el tiempo de producción, optimizando así los costes y beneficios.

5.1.1. Resumen de Actividades

Se resumen las actividades que se realizan sobre la turbina, desde que no es nada hasta que se termina, en el siguiente punto se detallan las operaciones que se ejecutan sobre las actividades.

#Núm.	Conjunto de operaciones	Símbolo
1	Multiplicador	M
2	Generador	G
3	Eje de baja velocidad	V
4	Carenado y Buje	K,B
5	Transformador y Refrigerador	T,R
6	Armario de Control	E
7	Soportes fijos	F,F2
8	Generador	G
9	Multiplicador	M
10	Eje de baja velocidad	V
11	Soportes Principal	S
12	Transformador	T
13	Sistema de Control	E
14	Turbina	N
15	Pruebas	
16	Sistema de Orientación	
17	Carcasa Inferior	K
18	Carcasa Superior	K
19	Refrigeración	R
20	Carcasa	K
21	Buje	B

Tabla 8.- Resumen de Actividades

En la primera fase se reúnen desde la nave de materias primas, a la nave de producción todos los elementos necesarios para el ensamblaje de la turbina.

5.1.2. Detalle de Operaciones

Se indican a continuación las tareas concretas con los pasos a seguir para ensamblar las turbinas, la primera columna indica el grupo de operaciones, lo que se ha resumido en la tabla anterior, la columna 2 es el subgrupo u operación concreta, después se indica la operación completa, indicando la acción a realizar, si hay que colocar, ensamblar, trasladar, elevar etc. Tras ella se describe el tiempo de ejecución, y el tiempo total.

La próxima columna etiqueta el componente en cuestión. Tras ella la posición donde se realiza el trabajo, luego el nombre de la operación y por último la maquinaria a utilizar.

.2	Actividad	min	T	Compts	Pos	Operación	Maq
1	1 Llega el multiplicador M a través del camino de rodillos	7	7	M	1C	Llega	k
	2 Colocar elementos de aprehensión sobre el multiplicador M	1,5	8,5	M	1C	Colocar	p,e,x
	3 Elevar y trasladar el multiplicador M	2,5	11	M	1C	Elevar	g
	4 Colocar el multiplicador M bajo un soporte móvil	0,5	11,5	M	1C	Colocar	k
	5 Retirar la caja contenedora del multiplicador M	0,5	12	M	1C	Retirar	
	6 Trasladar el multiplicador desde la posición 1C hasta 2F	2	14	M	1C -> 2F	Trasladar	k
2	1 Llega el generador G mediante camino de rodillos pesado hasta la posición 1C	5	19	G	1E	Llega	r
	2 Colocar elementos de aprehensión sobre el generador G	1,5	20,5	G	1E	Colocar	p
	3 Elevar el generador G, se dispone a moverse	1,5	22	G	1E	Elevar	
	4 Trasladar el generador G desde la posición 1C hasta 2I	2,5	24,5	G	1E -> 2I	Trasladar	g
	5 Colocar el generador G sobre un soporte de pallets	0,5	25	G	2I	Colocar	
	6 Retirar la caja contenedora del generador G	0,5	25,5	G	2I	Retirar	g
3	1 Llega en camino de rodillos el eje de baja velocidad V junto al soporte principal S	5	30,5	V,S	1C	Llega	r
	2 Colocar elementos de aprehensión sobre el eje de baja velocidad V	1,5	32	V	1C	Colocar	p
	3 Trasladar eje de baja velocidad V hasta la posición 2C	2,5	34,5	V	1C -> 2C	Trasladar	g
	4 Colocar elementos de aprehensión sobre el soporte principal S	1,5	36	S	1C	Colocar	p
	5 Trasladar el soporte principal S hasta la posición 1I	2	38	S	1C->1I	Trasladar	g
4	1 Llega en camino de rodillos el carenado K junto al buje B a la posición 1C	5	43	K,B	1C	Llega	r
	2 Colocar elementos de aprehensión sobre el carenado K	1,5	44,5	K	1C	Colocar	p
	3 Trasladar el carenado K hasta la posición 1F	4	48,5	K	1C->1F	Trasladar	g
	4 Colocar elementos de aprehensión sobre el buje B	1,5	50	B	1C	Colocar	p
	5 Trasladar el buje B hasta la posición 2F	2	52	B	1C -> 2F	Trasladar	g
5	1 Llega el transformador T junto con el sistema de refrigeración R a 1B	10	62	T,R	1C	Llega	r
	2 Colocar el pulpo sobre el transformador T	1	63	T	1C	Colocar	p
	3 Desplazar el transformador T hasta la posición 1G	2,5	65,5	T	1C -> 1G	Desplazar	g
	4 Colocar elementos de aprehensión sobre el refrigerador R	1,5	67	R	1C	Colocar	p
	5 Trasladar el refrigerador R hasta la posición 1G	1,5	68,5	R	1C -> 1G	Trasladar	g
6	1 Llega en camino de rodillos pesado el armario de control E	5	73,5	E	1C	Llega	r
	2 Colocar elementos de aprehensión sobre el armario de control E	0,5	74	E	1C	Colocar	p
	3 Trasladar el armario de control E hasta la posición 1D	1,5	75,5	E	1C -> 1D	Trasladar	g
0	El soporte fijo F está en la posición 2G	0	75,5	F	2G		
	El soporte fijo F2 está en la posición 2E	0	75,5	F2	2D		
	El sistema de orientación está en la posición 2A	0	75,5	O	2A		
7	1 Colocar el pulpo p sobre el soporte fijo F	0,5	76	F	2G	Colocar	p
	2 Trasladar el soporte fijo F desde 2G hasta 2E	1,5	77,5	F	2G->2E	Trasladar	g
	3 Atornillar el soporte fijo F a la cimentación en el suelo	5	82,5	F	2E	Atornillar	
8	1 Retirar el embalaje que recubre al generador G	0,5	83	G	1C	Retirar	

5. Proceso

	2	Colocar el pulpo sobre el generador G	1,5	84,5	G	1C	Colocar	p
	3	Trasladar el generador G desde la posición 1B hasta 2E sobre el soporte F	1,5	86	G	1C -> 2E	Trasladar	g
	4	Atornillar el generador G sobre el soporte F	2	88	G,F	2E	Atornillar	a
9	1	Retirar el embalaje que recubre al multiplicador M	0,5	88,5	M	2F	Retirar	
	2	Colocar el pulpo sobre el multiplicador M	1,5	90	M	2F	Colocar	p
	3	Trasladar el multiplicador desde la posición 2F hasta 2E	2	92	M	2F->2E	Trasladar	g
	4	Atornillar el multiplicador M al generador G	2	94	G+M	2E	Atornillar	a,e,x
10	1	Colocar el pulpo sobre el eje de baja velocidad V	1,5	95,5	V	2C	Colocar	p
	2	Trasladar el eje de baja V hasta el soporte F en 2E	2,5	98	V	2C->2E	Trasladar	g
	3	Ensamblar el eje de baja velocidad V junto al conjunto G+M	2	100	G+M,V	2E	Ensamblar	g,e
11	1	Colocar el pulpo sobre el soporte principal S	1,5	101,5	S	1I	Colocar	p
	2	Trasladar el soporte principal hasta la posición 2E	2,5	104	S	1I->2E	Trasladar	g
	3	Ensamblar el soporte principal S junto al eje de baja velocidad V	2	106	V,S	2E	Ensamblar	
	4	Atornillar la unión entre soporte principal S y eje de baja V	2	108	V,S	2E	Atornillar	a
12	1	Colocar pulpo sobre el transformador T	1,5	109,5	T	1G	Colocar	p
	2	Trasladar el transformador T hasta la posición de operaciones 2E	2,5	112	T	1G->2E	Trasladar	g
	3	Ensamblar el transformador T junto al generador G	2	114	T,G	2E	Ensamblar	
	4	Conectar eléctricamente el transformador T al generador G	2	116	T,G	2E	Conectar	
	5	Atornillar la unión entre transformador T y generador G	2	118	T,G,	2E	Atornillar	a
13	1	Colocar pulpo sobre el sistema de control E	1,5	119,5	E	1D	Colocar	p
	2	Trasladar el sistema de control E hasta la posición de operaciones 2E	2,5	122	E	1D->2E	Trasladar	g
	3	Atornillar el armario de control E al transformador T	2	124	E,T	2E	Atornillar	a
0		El conjunto G+M+V+S+T+E lo llamamos góndola y la designamos por N	0	124	N	2E		
14	1	Colocar el pulpo sobre la turbina N	1,5	125,5	N	2E	Colocar	p,e
	2	Desatornillar las uniones que haya entre la turbina N y el soporte fijo F	2,5	128	N,F	2E	Desatornillar	a
	3	Trasladar la turbina N desde 2E hasta la zona de pruebas 3B	3	131	N	3B	Trasladar	g
	4	Atornillar la turbina N a la plataforma en la zona de pruebas X	3	134	N,X	3B	Atornillar	a
15	1	Realizar pruebas	126	260	X	3B	Realizar	
16	1	Colocar el pulpo sobre el sistema de orientación O			O	1A	Colocar	p
	2	Trasladar el sistema de orientación O hasta la posición 2B			O	1A->2B	Trasladar	g
	3	Fijar el sistema de orientación O al suelo			O	2B	Fijar	a
17	1	Colocar el pulpo sobre la carcasa inferior K			K	1F	Colocar	p
	2	Trasladar la carcasa inferior K hasta el sistema de giro O en la posición 2B			K	1F->2B	Trasladar	g
	3	Atornillar la carcasa inferior K al sistema de giro O			K,O	2B	Atornillar	a
18	1	Colocar el pulpo sobre la turbina N			N	3B	Colocar	p
	2	Desatornillar las uniones entre la turbina N y la plataforma orientable de pruebas			N,X	3B	Desatornillar	a
	3	Trasladar la turbina N hasta la carcasa inferior en 2B			N	3B->2B	Trasladar	g
	4	Atornillar la turbina N a la carcasa inferior K			N,K	2B	Atornillar	a
19	1	Colocar el pulpo sobre el sistema de refrigeración R			R	1G	Colocar	p
	2	Trasladar el sistema de refrigeración desde 1G hasta 2B			R	1G->2B	Trasladar	g
	3	Ensamblar el sistema de refrigeración R a la turbina N			R,N	2B	Ensamblar	a
20	1	Colocar pulpo sobre la carcasa superior K			K	1F	Colocar	p,e,x
	2	Trasladar la carcasa superior K hasta la posición 2B			K	1F->2B	Trasladar	g
	3	Atornillar ambas carcasas superior e inferior K			K	2B	Atornillar	a
21	1	Colocar el pulpo al buje B			B	1C	Colocar	p
	2	Trasladar el buje B hasta la posición 2B			B	2B	Trasladar	g

	3	Ensamblar el buje B a la góndola N	B,N	2B	Ensamblar	a,e
22	1	Colocar el pulpo sobre la carcasa superior K	K	2B	Colocar	p,e,x
	2	Desatornillar los anclajes del sistema de giro O al suelo	O	2B	Desatornillar	a
	3	Expedir la turbina N			Expedir	

Tabla 9.- Proceso de Producción

Los componentes que usan para ensamblar y que conforman la turbina:

Componente	Abreviatura
Multiplicador	M
Generador	G
Soporte Principal + Freno hidráulico	S
Buje	B
Carenado	K
Sistema de Orientación	O
Góndola	N
Sistema de Control Electrónico	E
Máquina de Pruebas	X
Refrigeración	R
Transformador	T
Eje de Baja Velocidad	V
Soporte Fijo	F

Tabla 10.- Componentes para ensamblar

Herramientas que se usan durante la fase de producción son las siguientes:

Herramienta	Abreviatura
Puente grúa	g
Pulpo	p
Escalera	e
Cables tensados	c
Atornillador	t
Plataforma elevadora	x
Carretilla	k
Camino de rodillos	r
Atornillador	a
Listones de madera	m
Andamios	d

Tabla 11.- Herramientas para la producción

Acerca de las herramientas a utilizar:

Andamios: armazón desmontable constituido por tramex metálico y barras tubulares, desmontables, de fácil montaje, se coloca el andamio alrededor de la turbina en proceso para acceder a zonas de la turbina de difícil acceso, sobre todo en zonas superiores, y zonas interiores, también proporcionan estabilidad necesaria para

realizar operaciones delicadas y críticas. Este andamio engloba y rodea a la turbina, posee 2 alturas una intermedia a 1,5 m y otra alta a 3m, estas alturas son regulables, mediante un sistema hidráulico para alcanzar las zonas más inaccesibles. Los andamios son móviles para poder trasladarse y colocarlos cuando sea necesario y no interrumpa el desplazamiento de utensilios, herramientas, componentes o turbinas. Durante las operaciones en andamios, los operarios deben usar las medidas de protección integral necesarias como arneses.

Escalera: esta escalera permite realizar acciones puntuales o zonas altas de la turbina, como por ejemplo colocar pulpos sobre la turbina. Esta escalera es mixta con rótula y además portátil.

Puente Grúa: esta quizás sea la maquinaria más crítica de todas, ya que su ausencia podría retrasar seriamente la producción, o generar cuellos de botella en caso de mala praxis. Este puente grúa está diseñado para poder transportar grandes pesos, en concreto el peso máxima es el de la turbina finalizada, con un peso de 30 Toneladas. El gancho del puente grúa es intercambiable y para la producción se usará un pulpo con conexiones cableadas a la turbina. El puente grúa será birraíl de 16 + 16 Tn por polipasto.

Especificaciones Técnicas:

Luz: 30 m	Peso Polipasto: 2 x 830 kg
Carga: 30 Tn	Peso Viga: 21710 kg
Altura de Elevación: 5 m	Alimentación: 400/48 V; 50 Hz
Velocidad de Elevación: 2.5 – 0.42 m/min	Potencia: 15 kW
Velocidad del Carro: 20 m/min	Control por Radiofrecuencia
Velocidad de Grúa: 32 m/min	ISO 12488-1

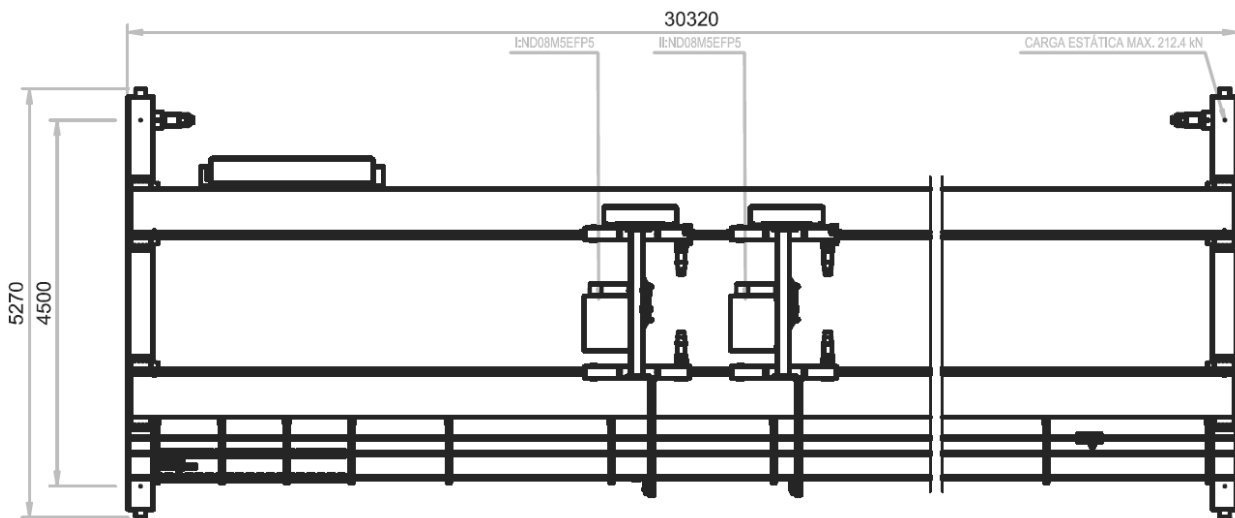


Ilustración 16.- Vista en planta del puente grúa

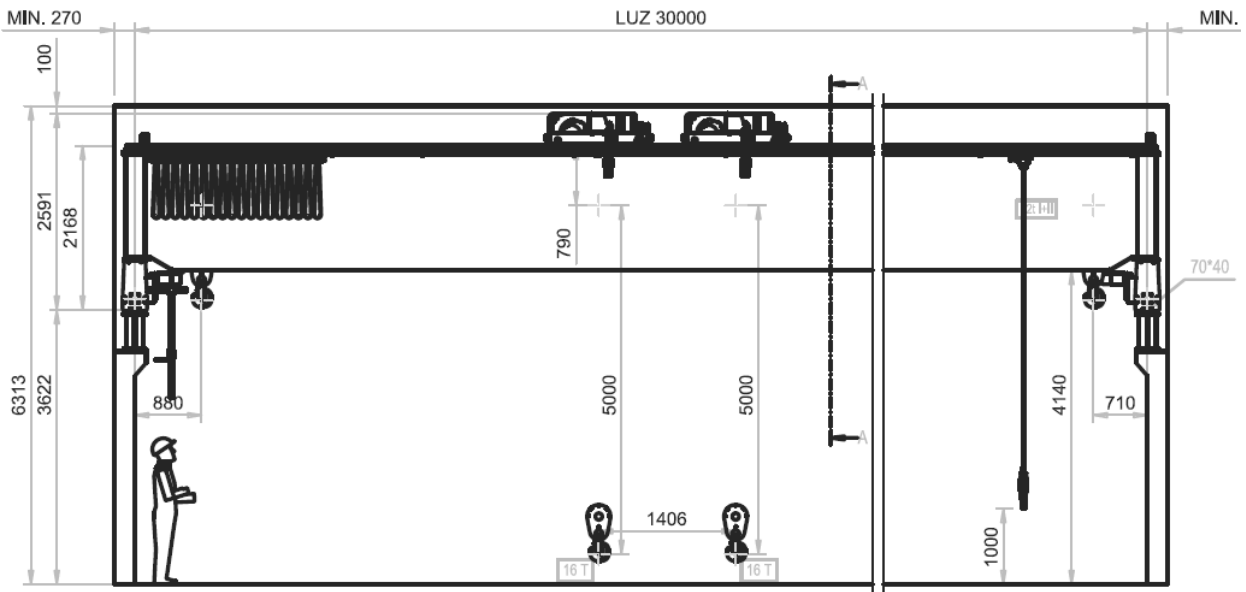


Ilustración 17.- Vista en Alzado del puente grúa

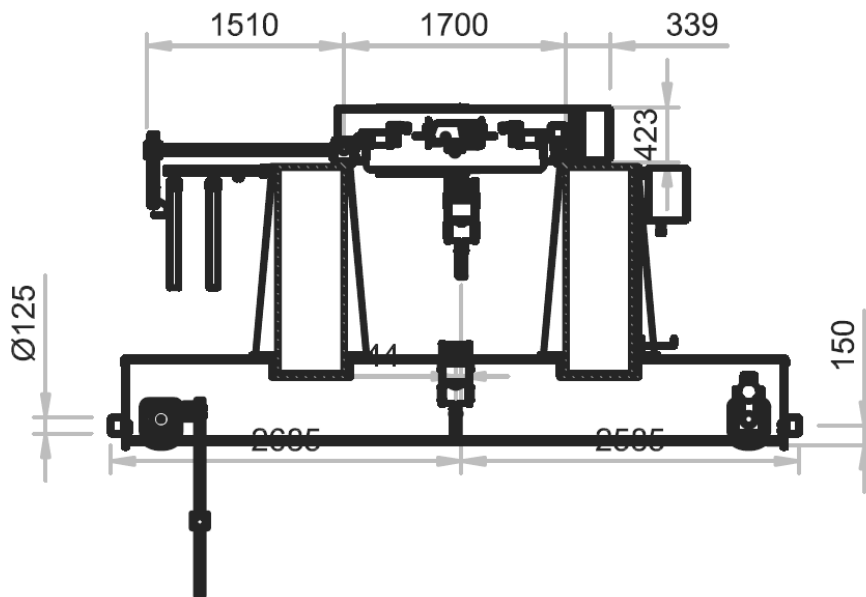


Ilustración 18.- Vista detalle del polipasto del puente grúa

Equipos de Protección Individual: conjunto de medios y dispositivos utilizados para proteger en entornos laborales industriales, para las operaciones que se realizan durante el ensamblaje de turbinas se necesitarán botas protectoras, gafas protectoras, guantes, casco chaleco reflectante.

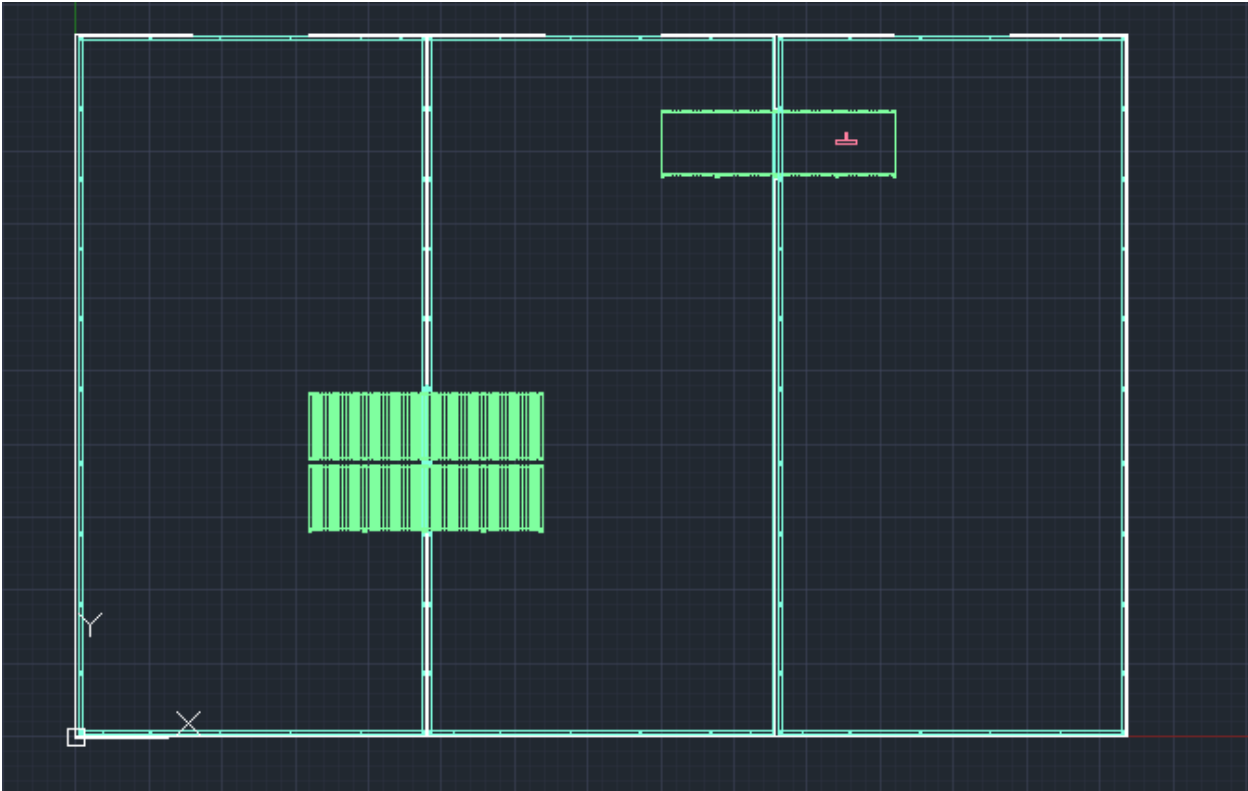
A continuación, se esquematizan las zonas de producción

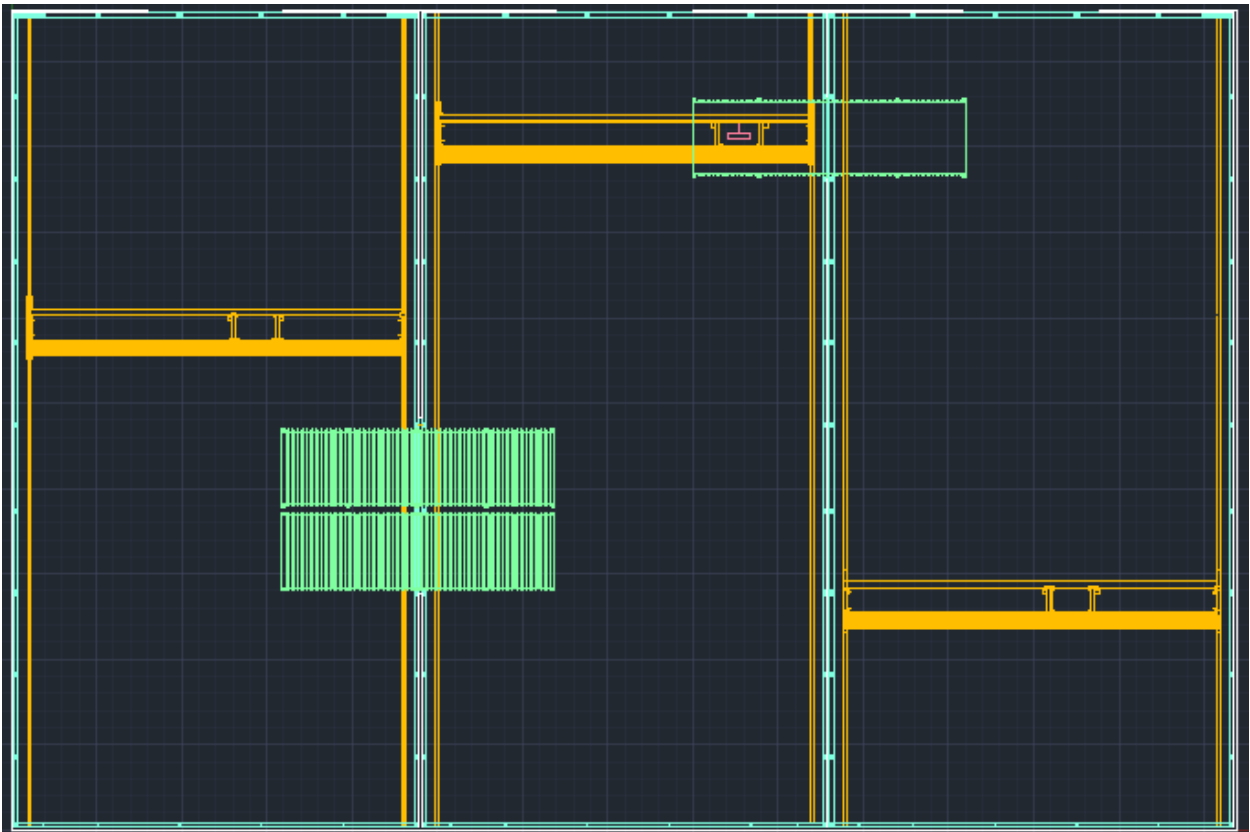
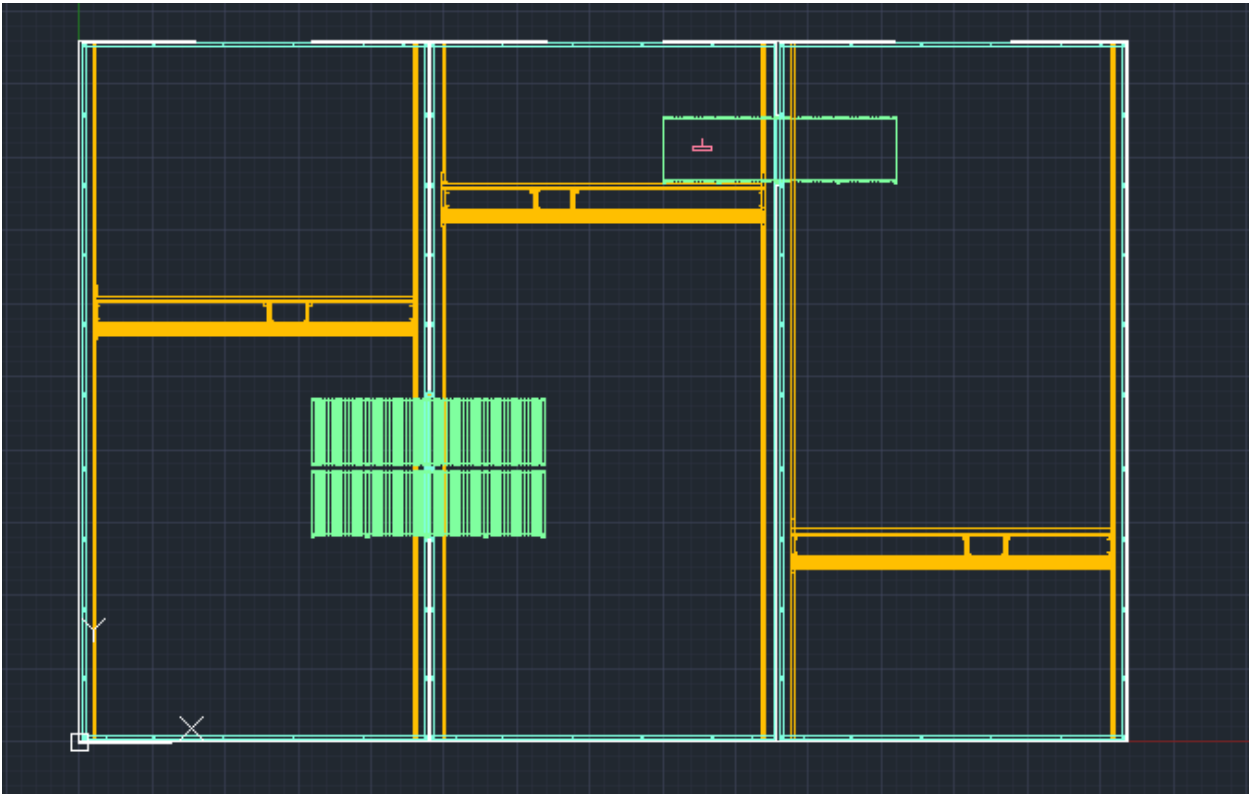
1A	1B	1C
1D	1E	1F
1G	1H	1I
2A	2B	2C
2D	2E	2F
2G	2H	2I
3A	3B	3C
3D	3E	3F

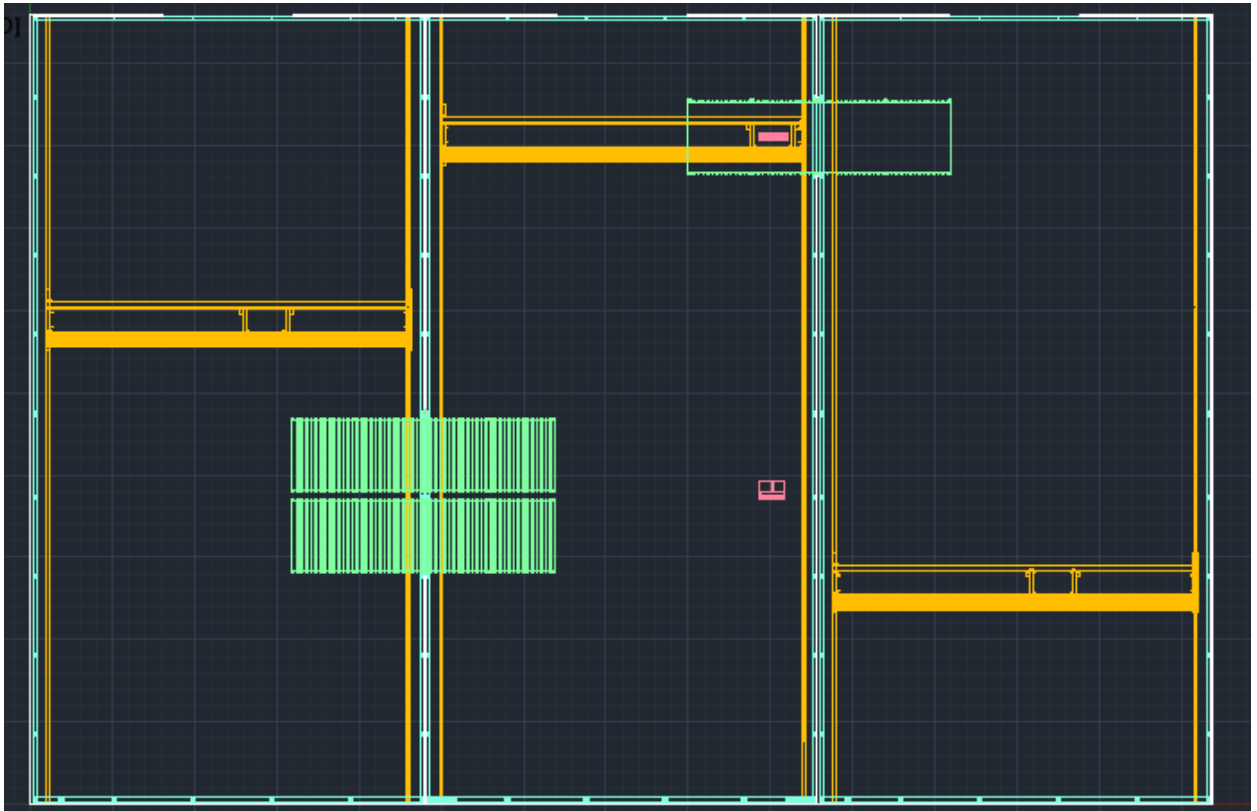
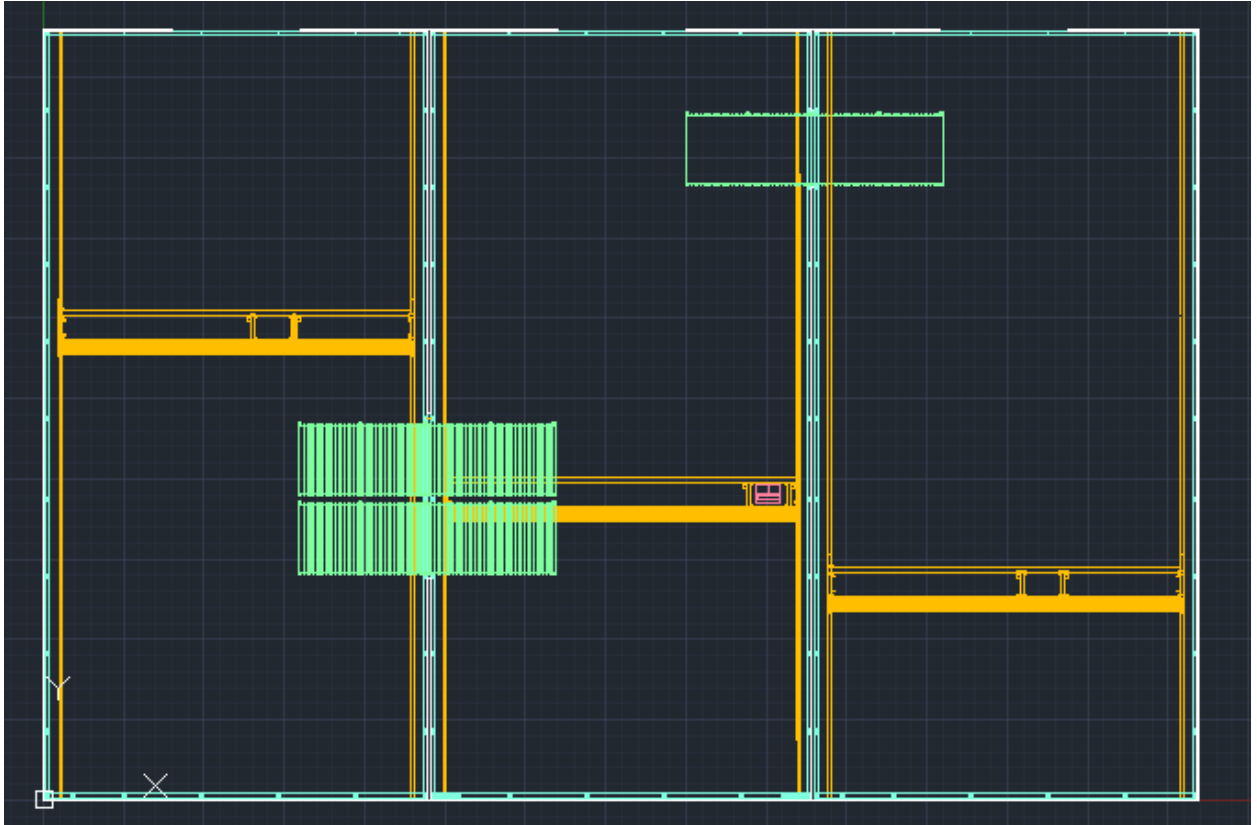
Tabla 12.- Zonas de Producción

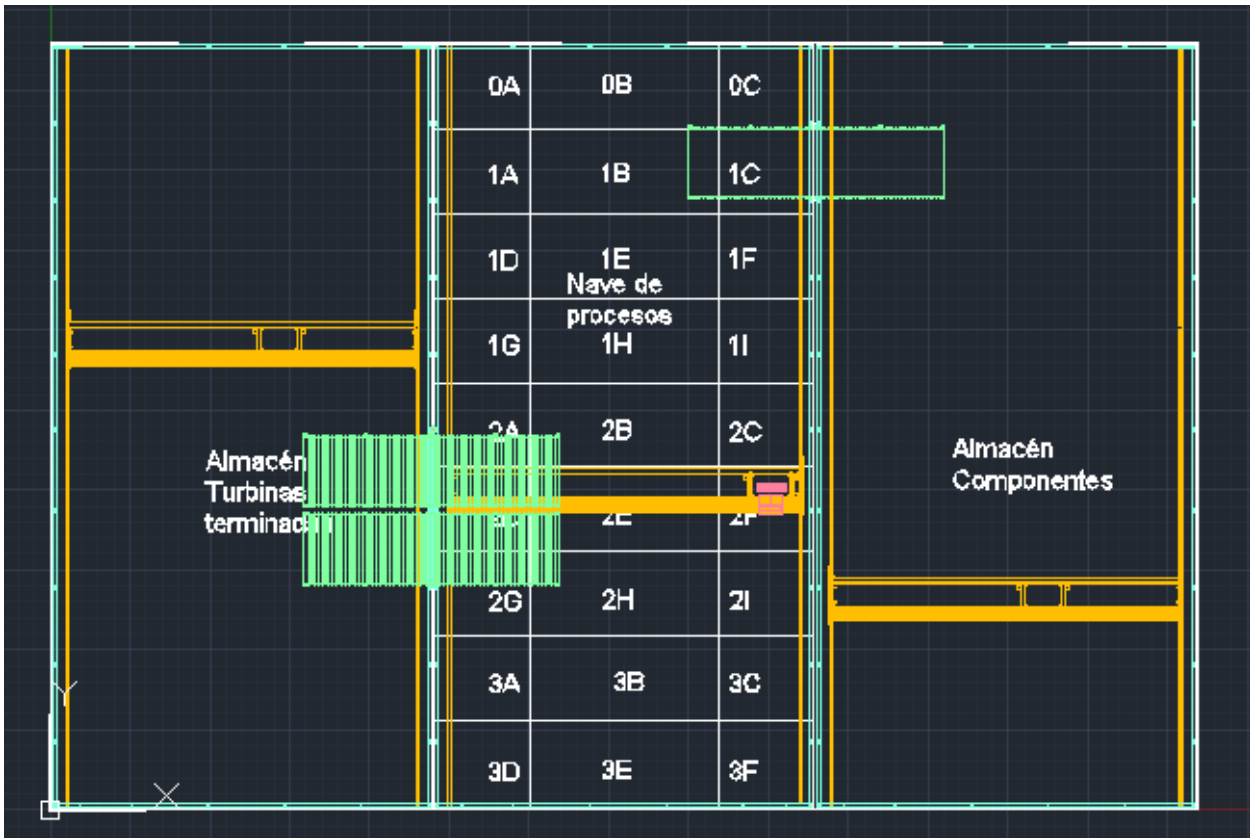
2	0	35
3	4	6
4	0	2
1	12	1
1	20	7
3	0	2
0	5	0
0	0	0

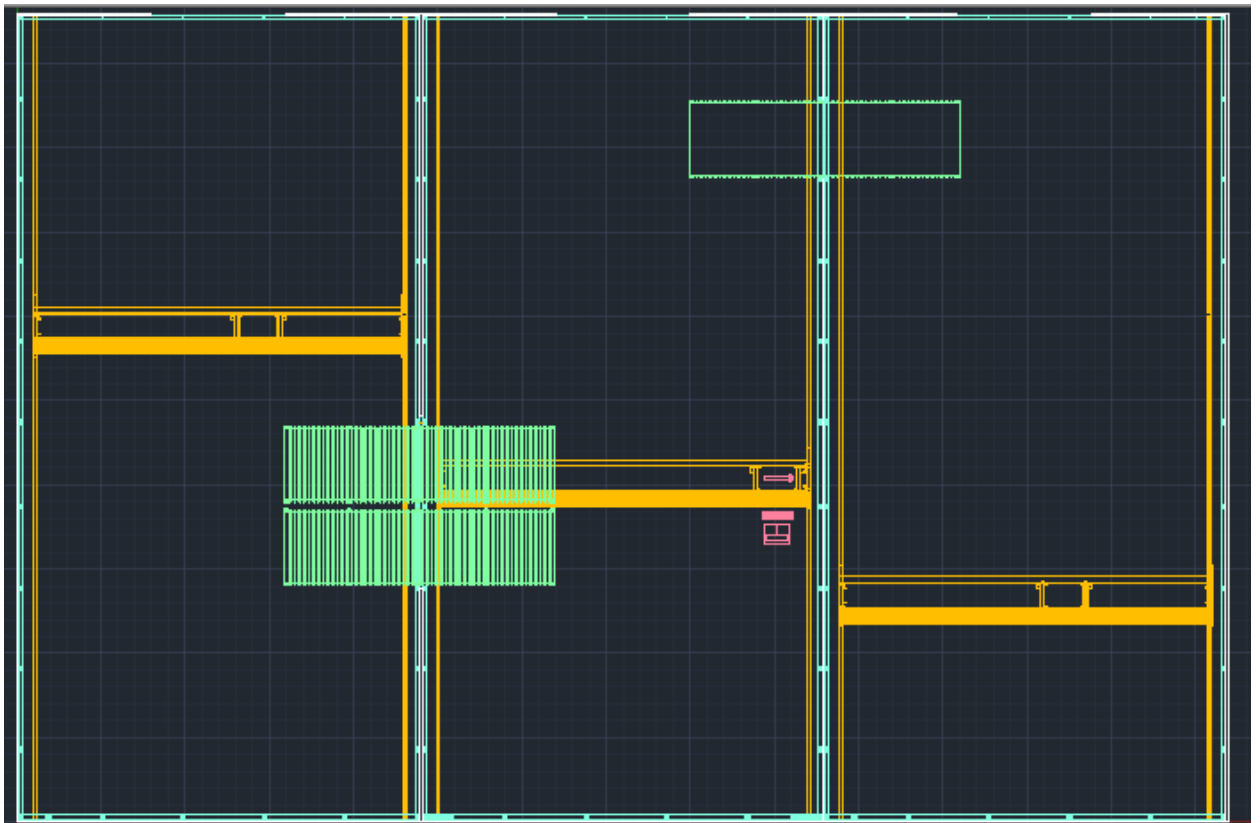
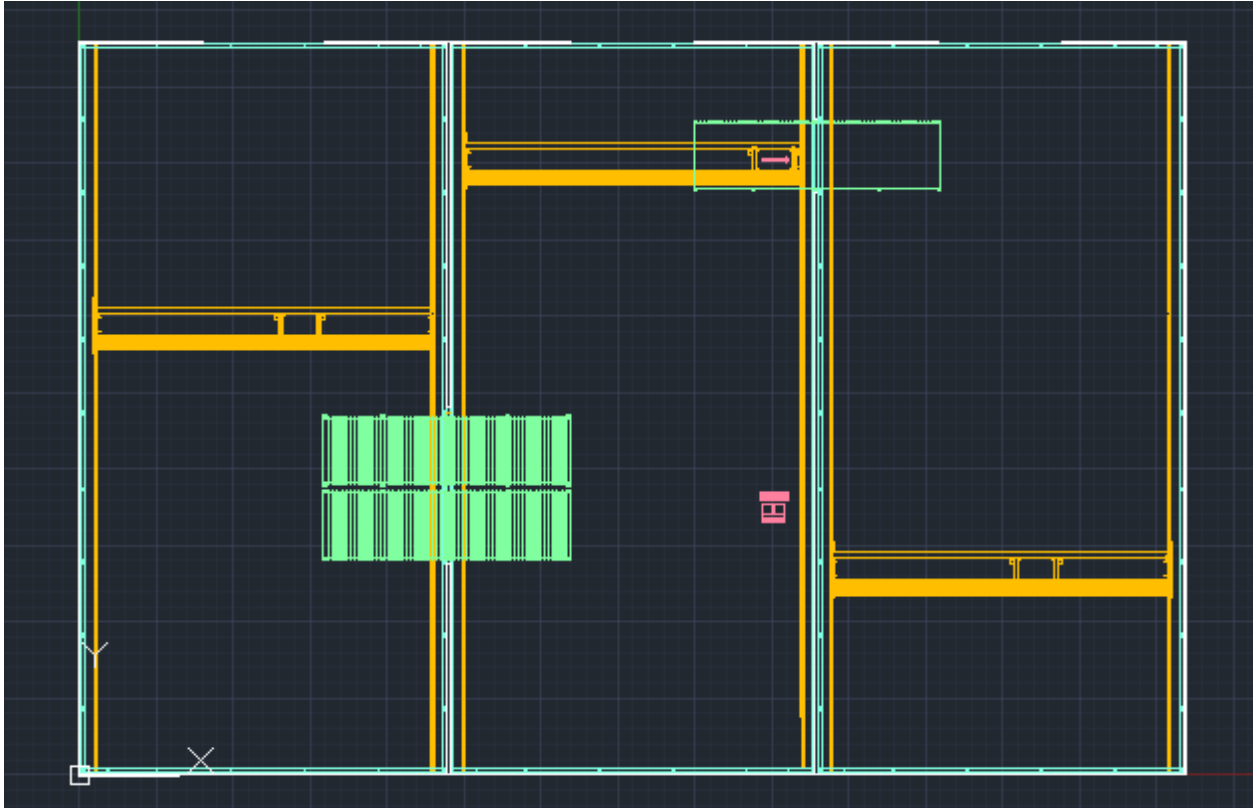
Tabla 13.- Mapa de colo de las zonass de producción

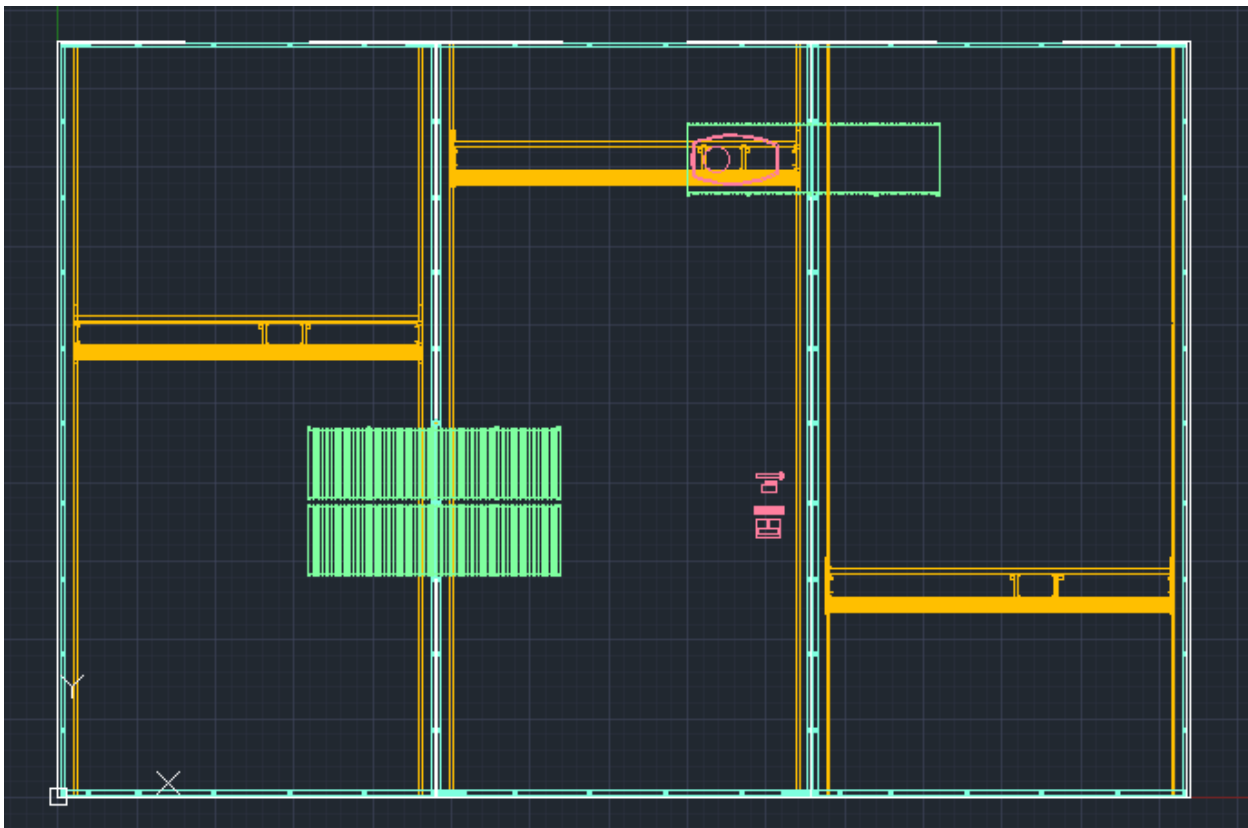
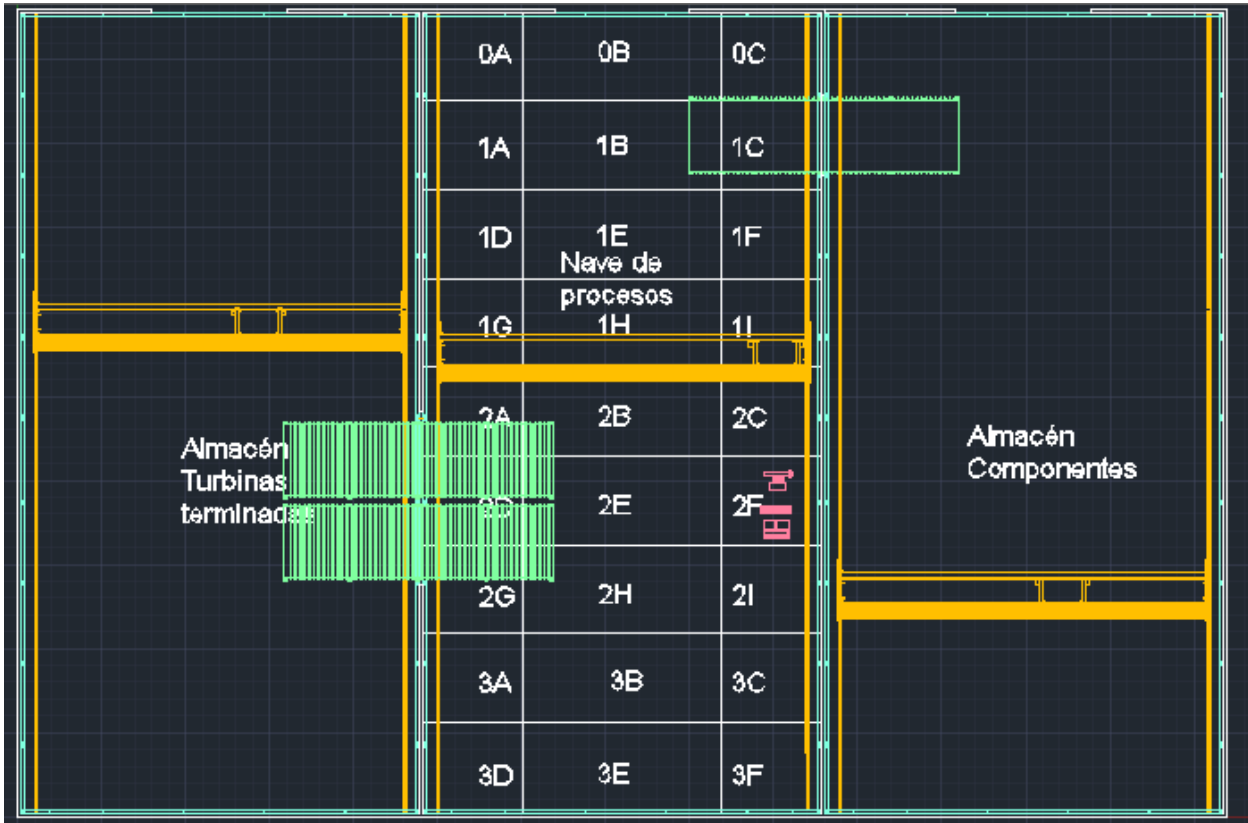


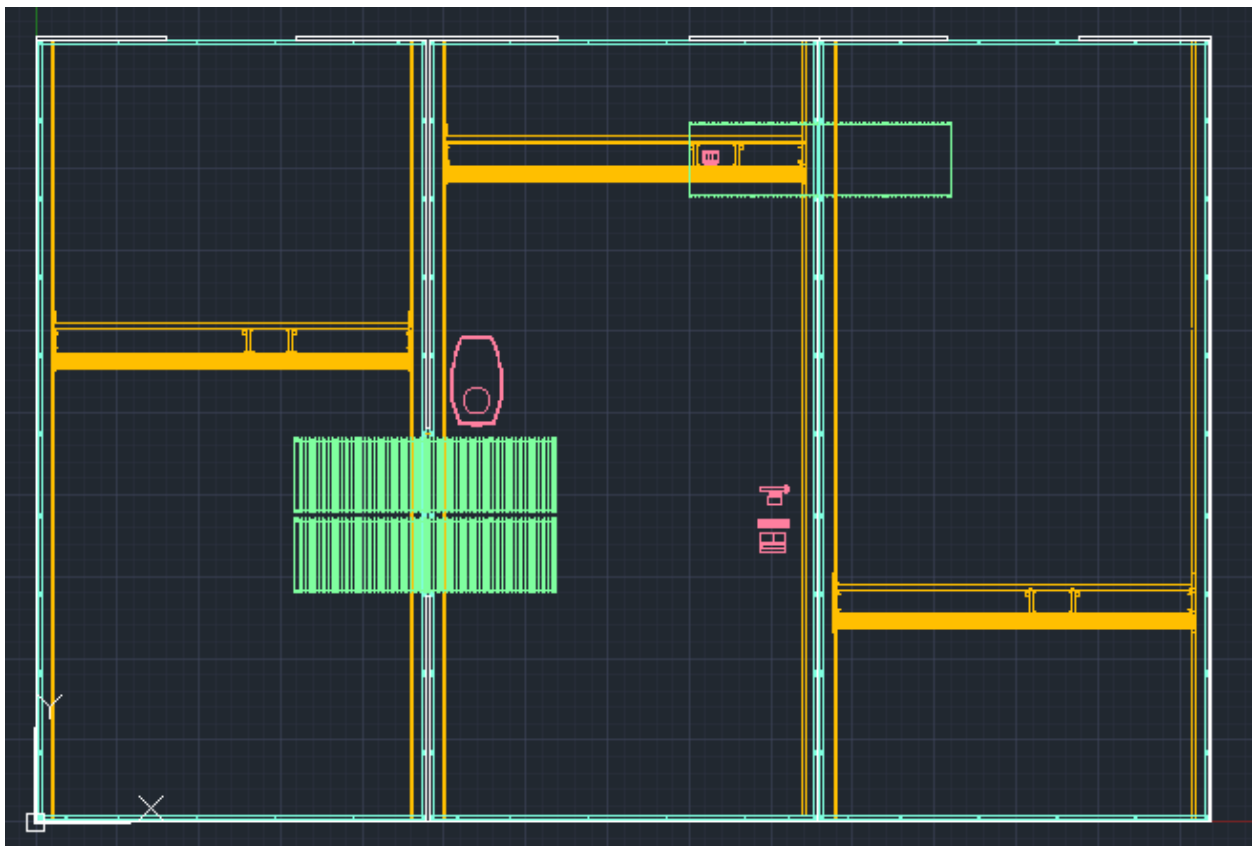
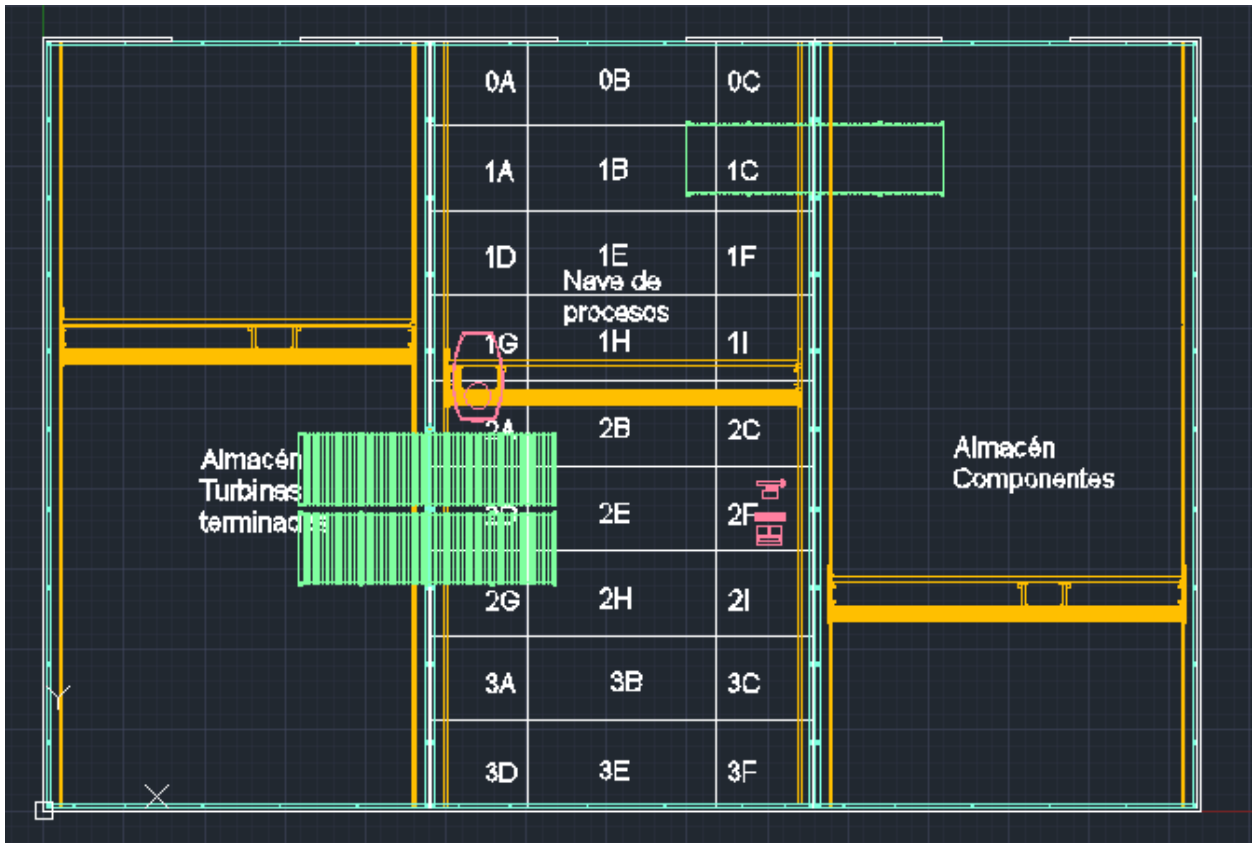


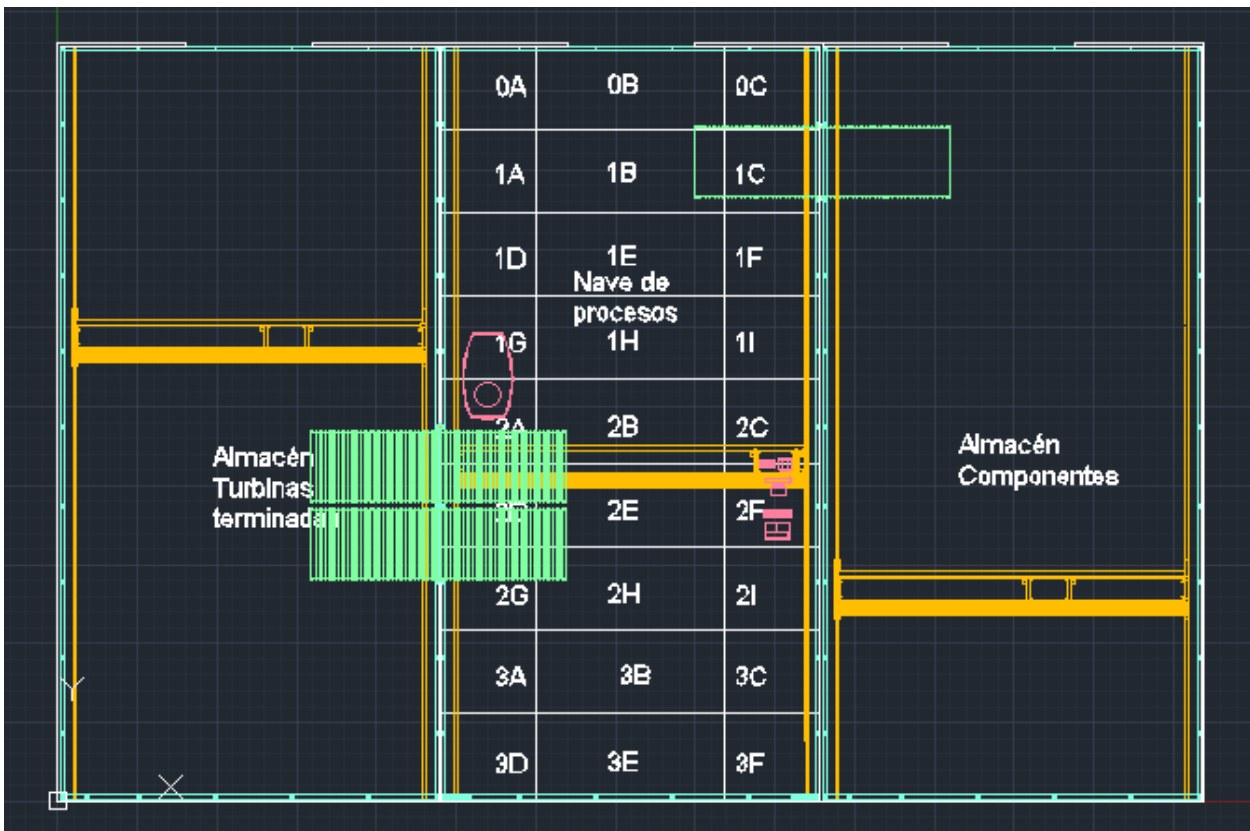
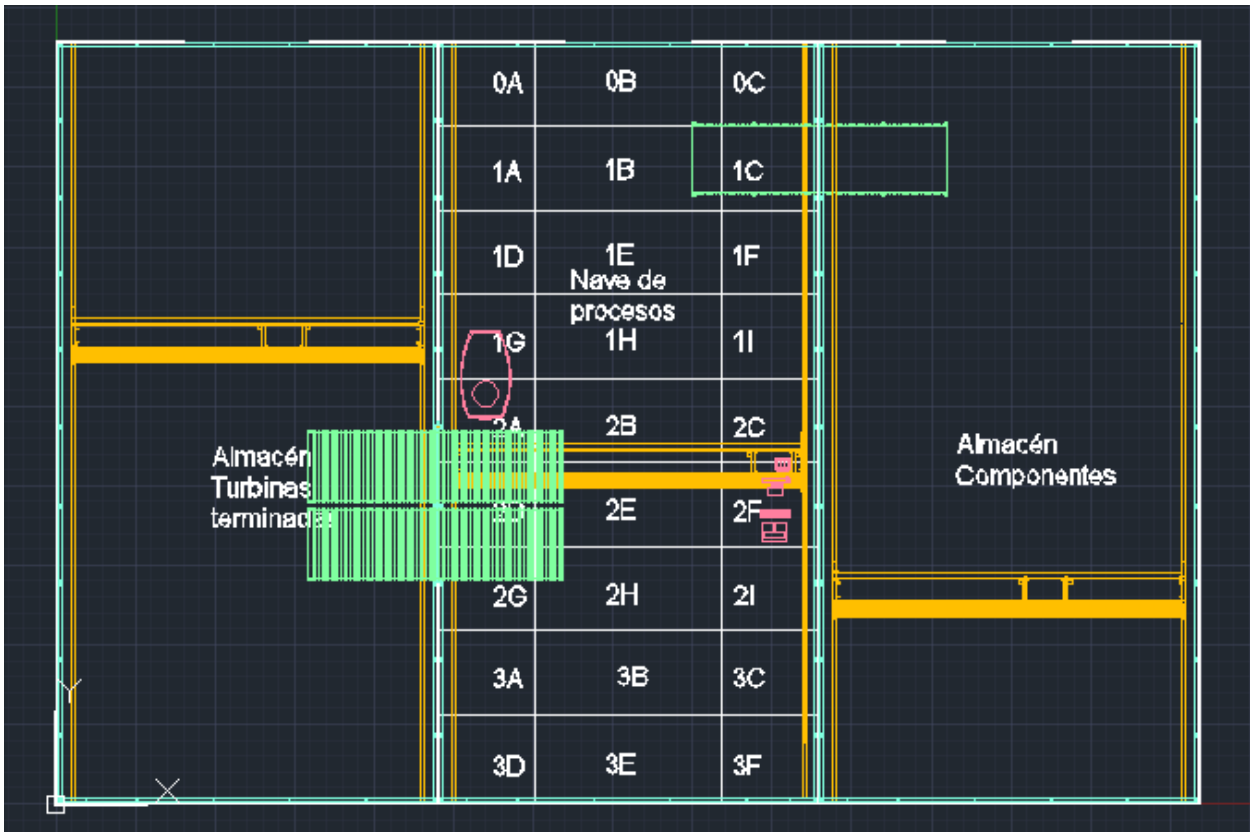


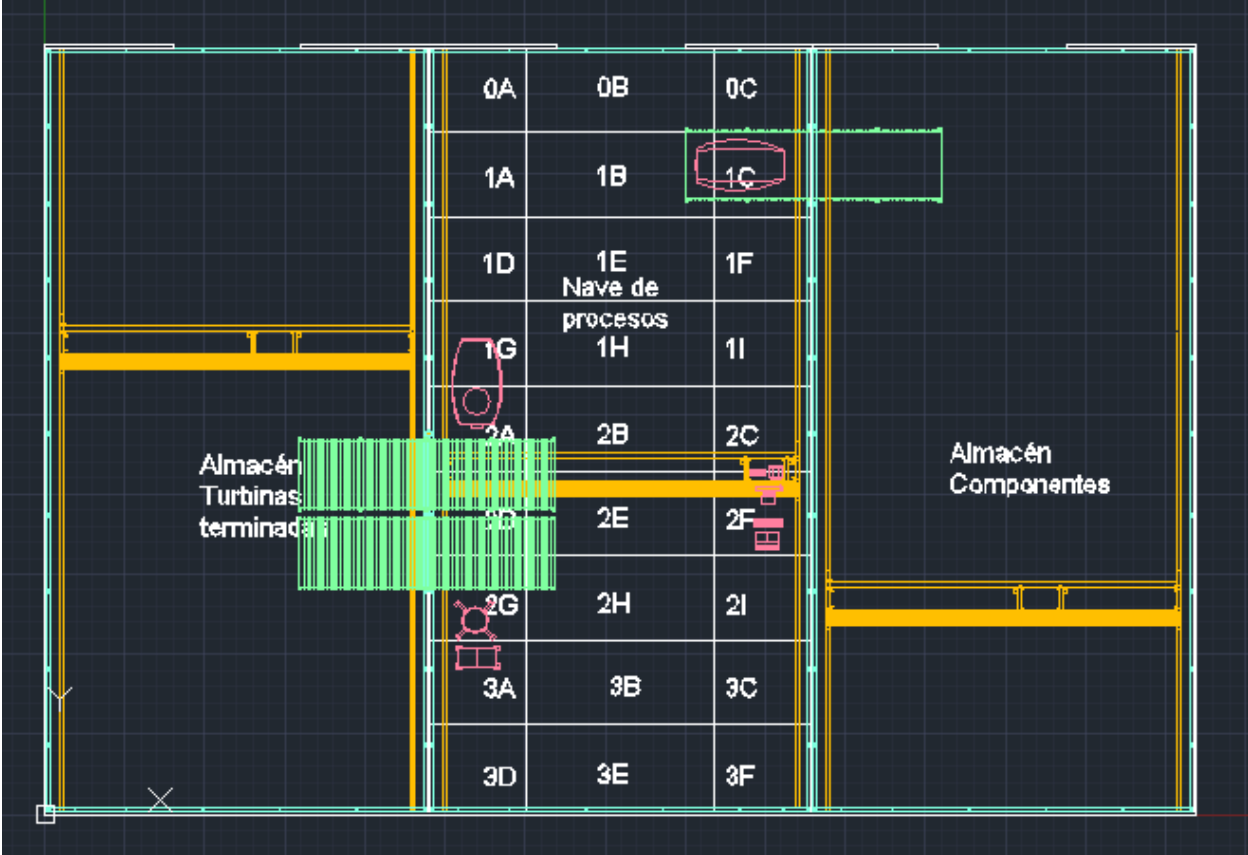
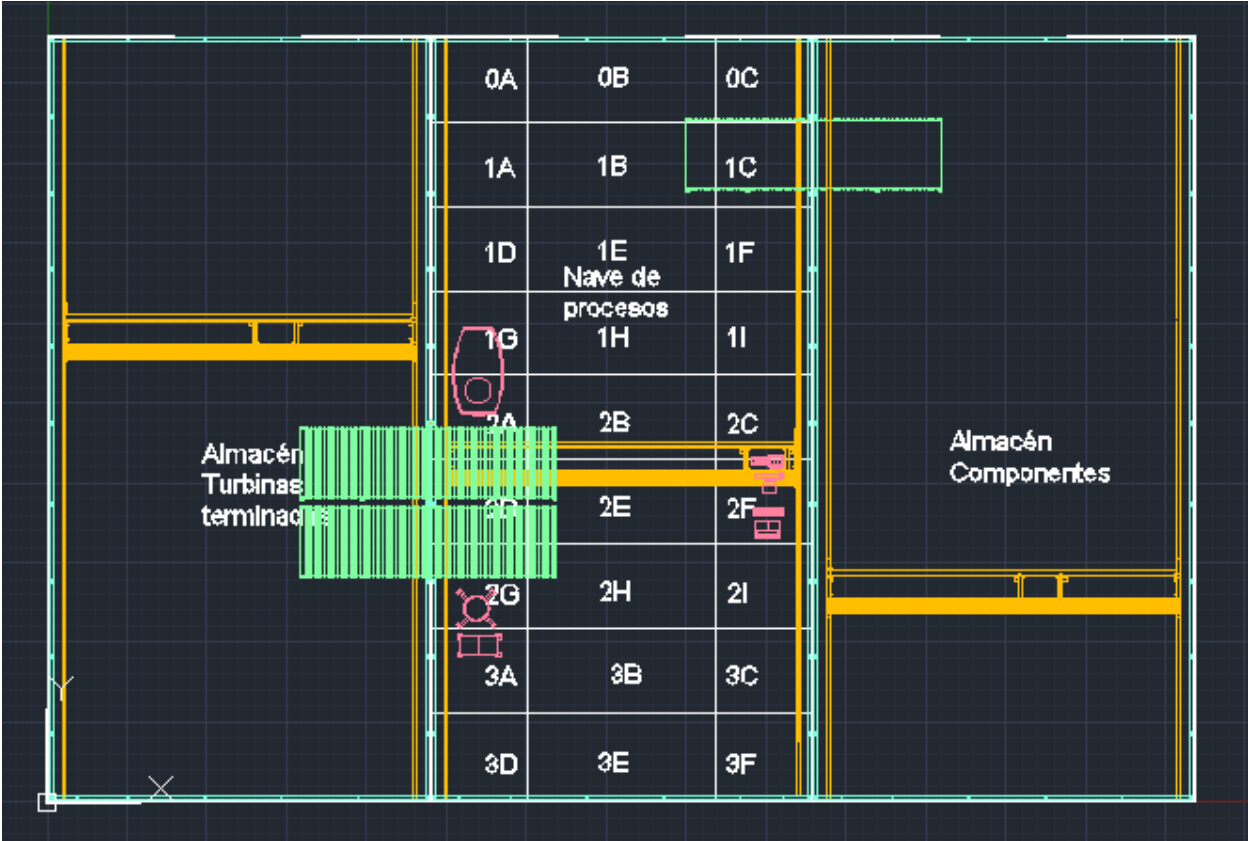


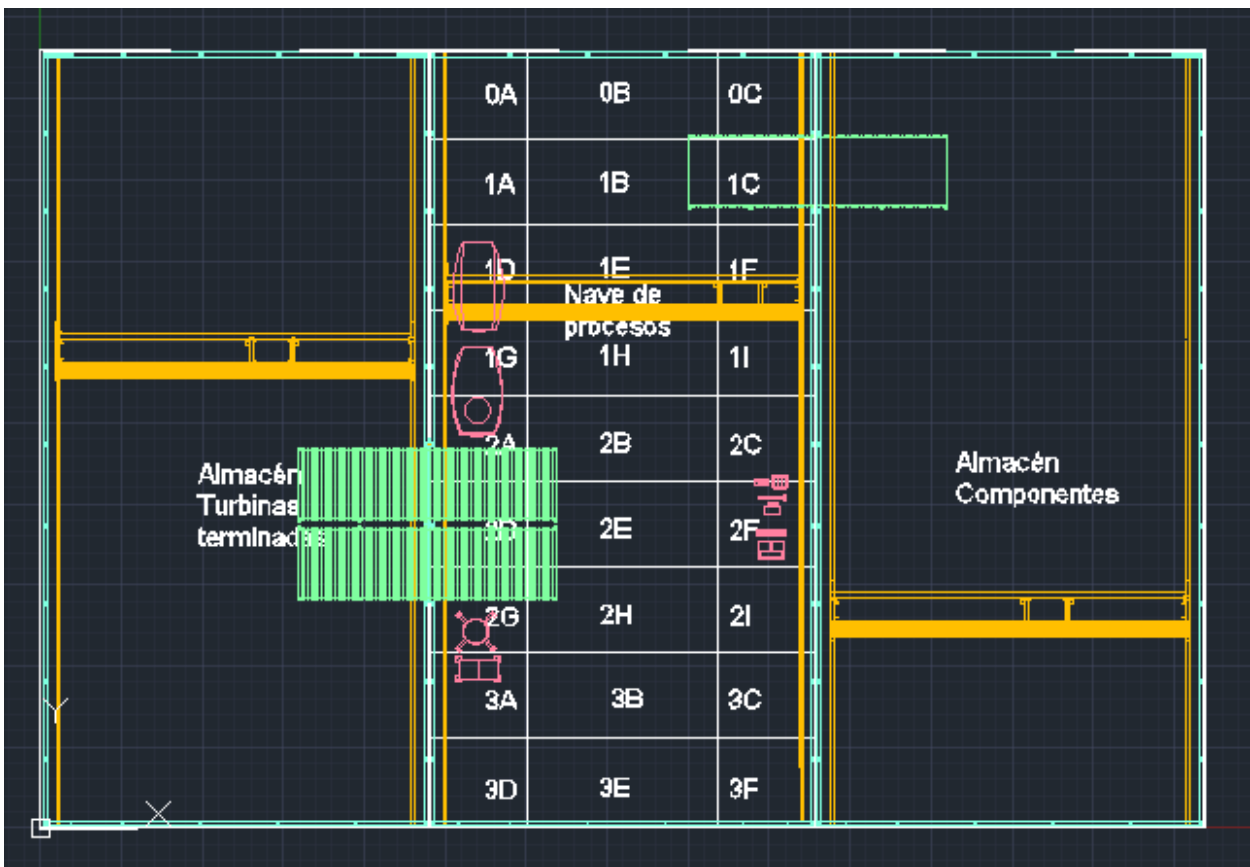
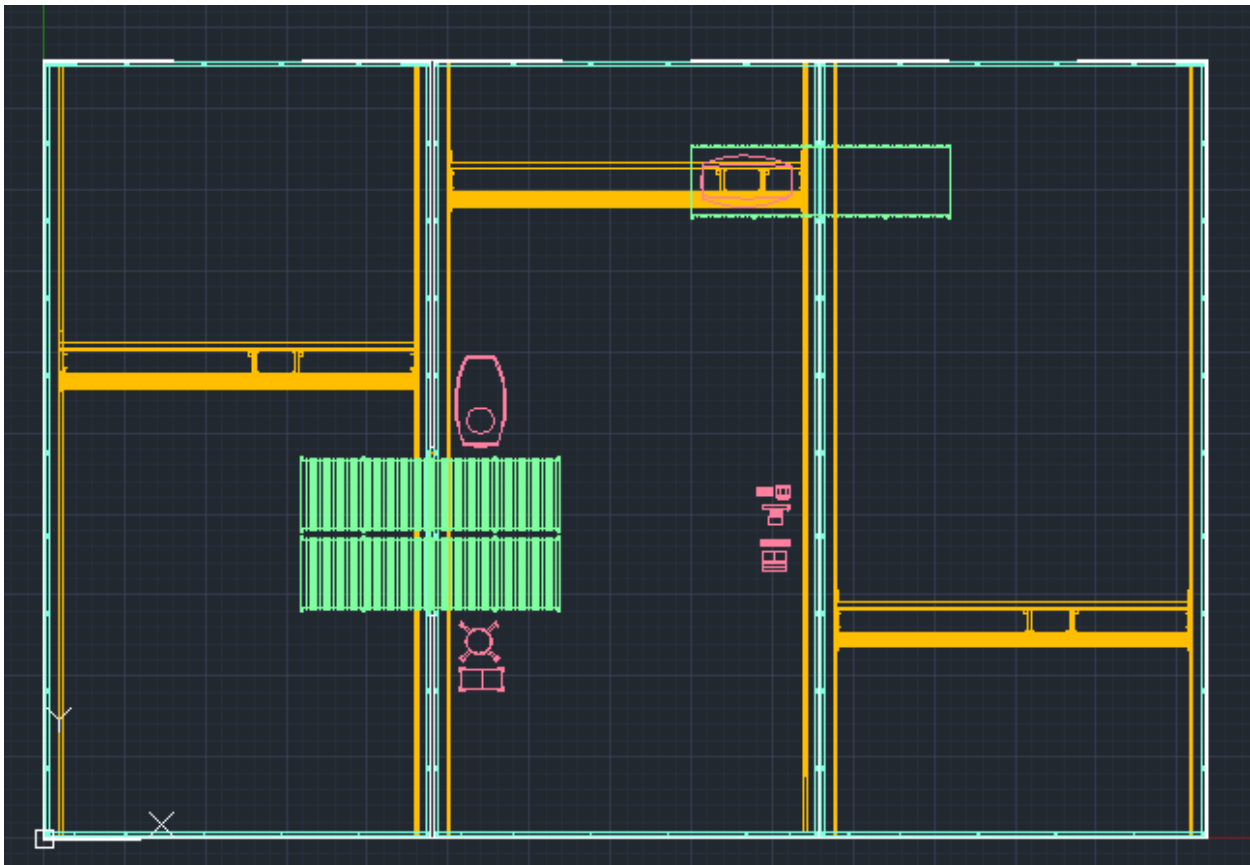


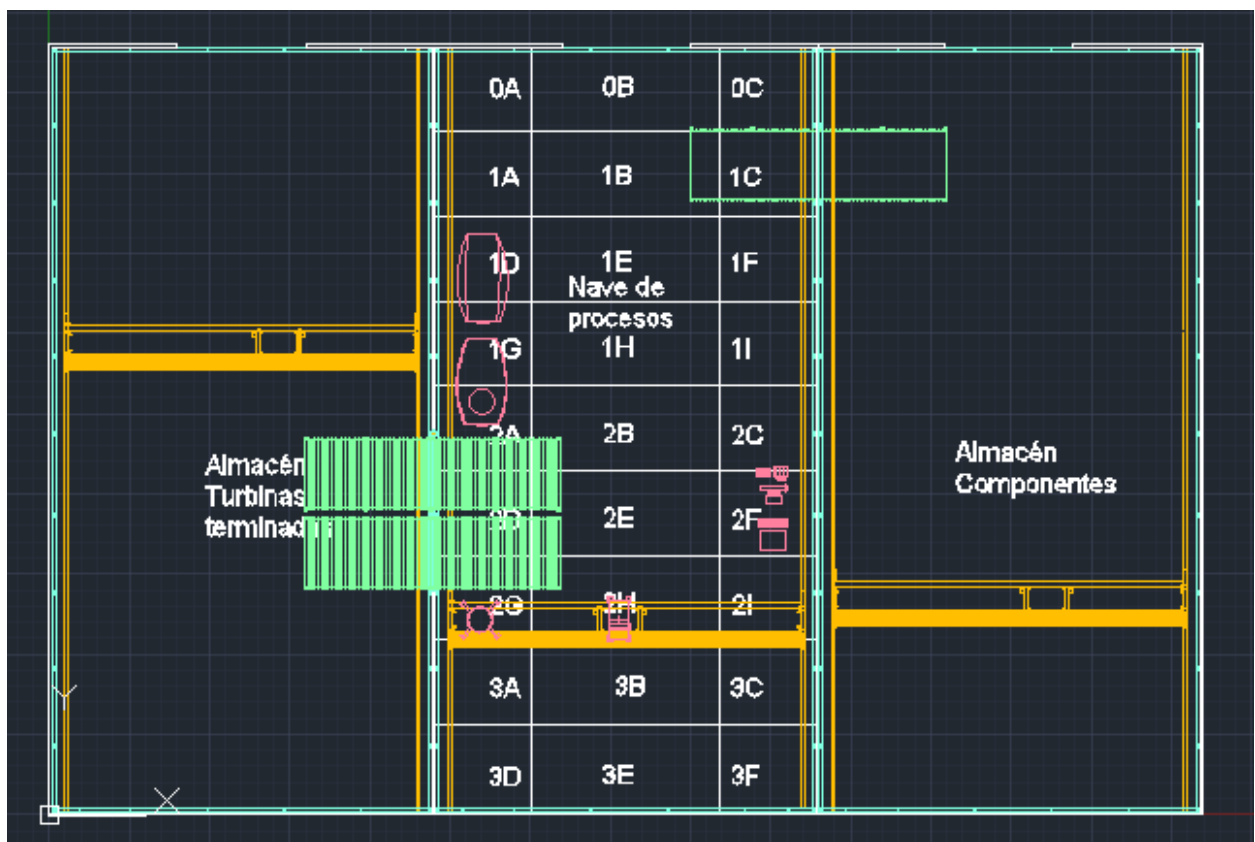
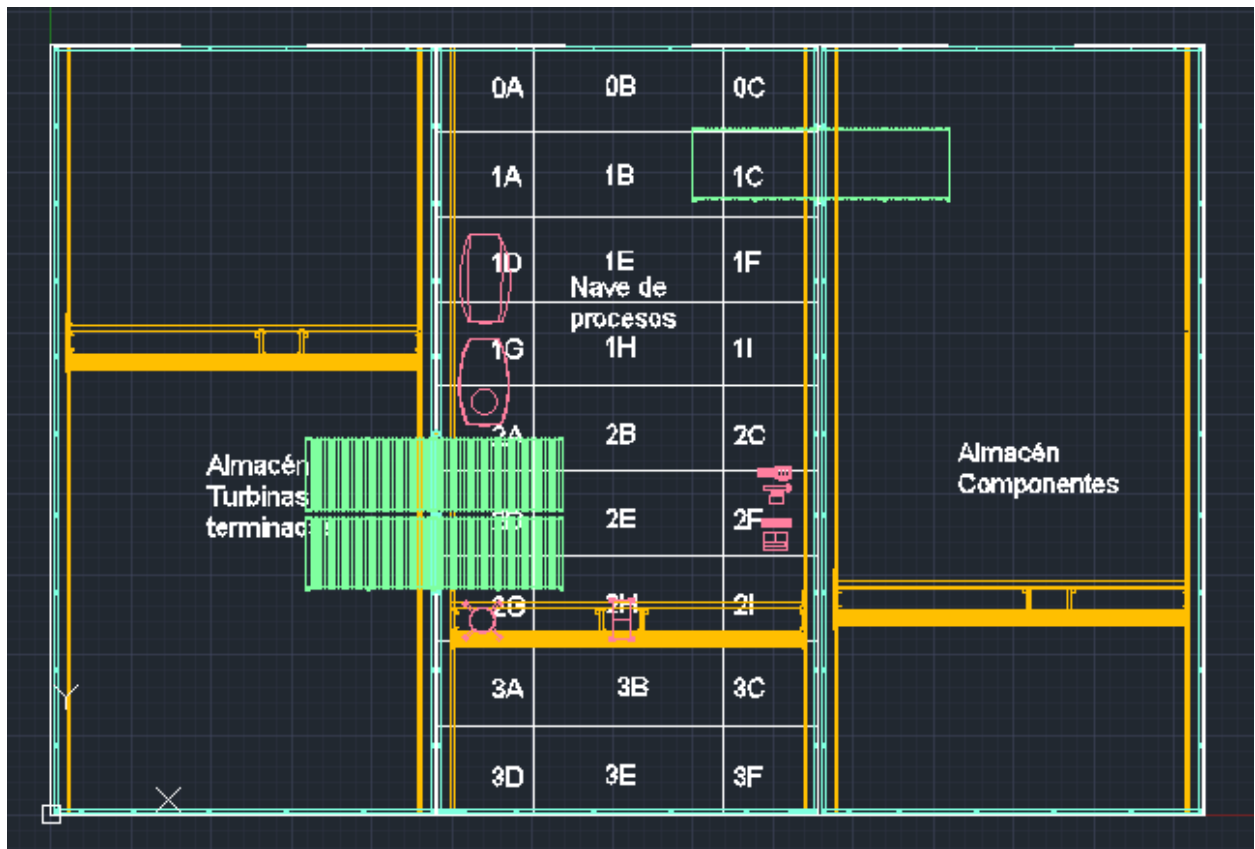


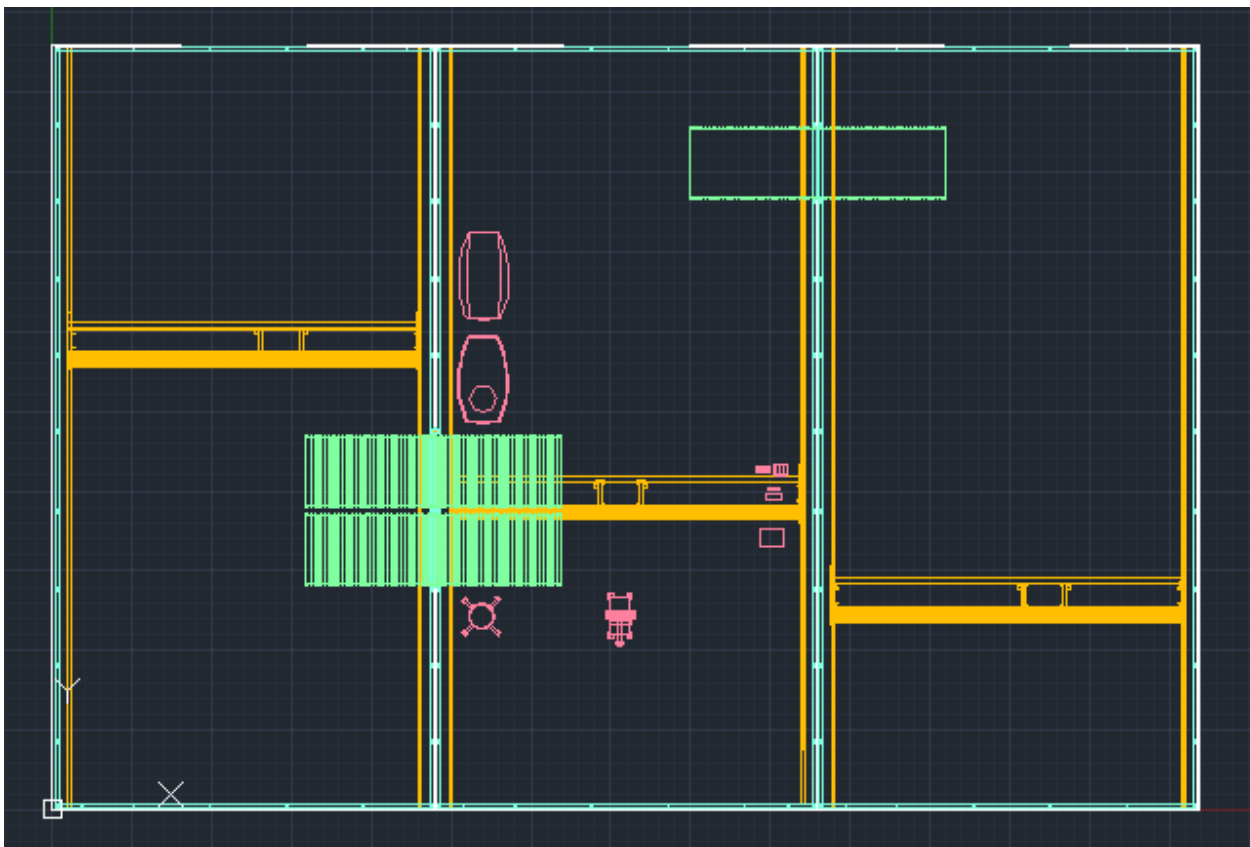
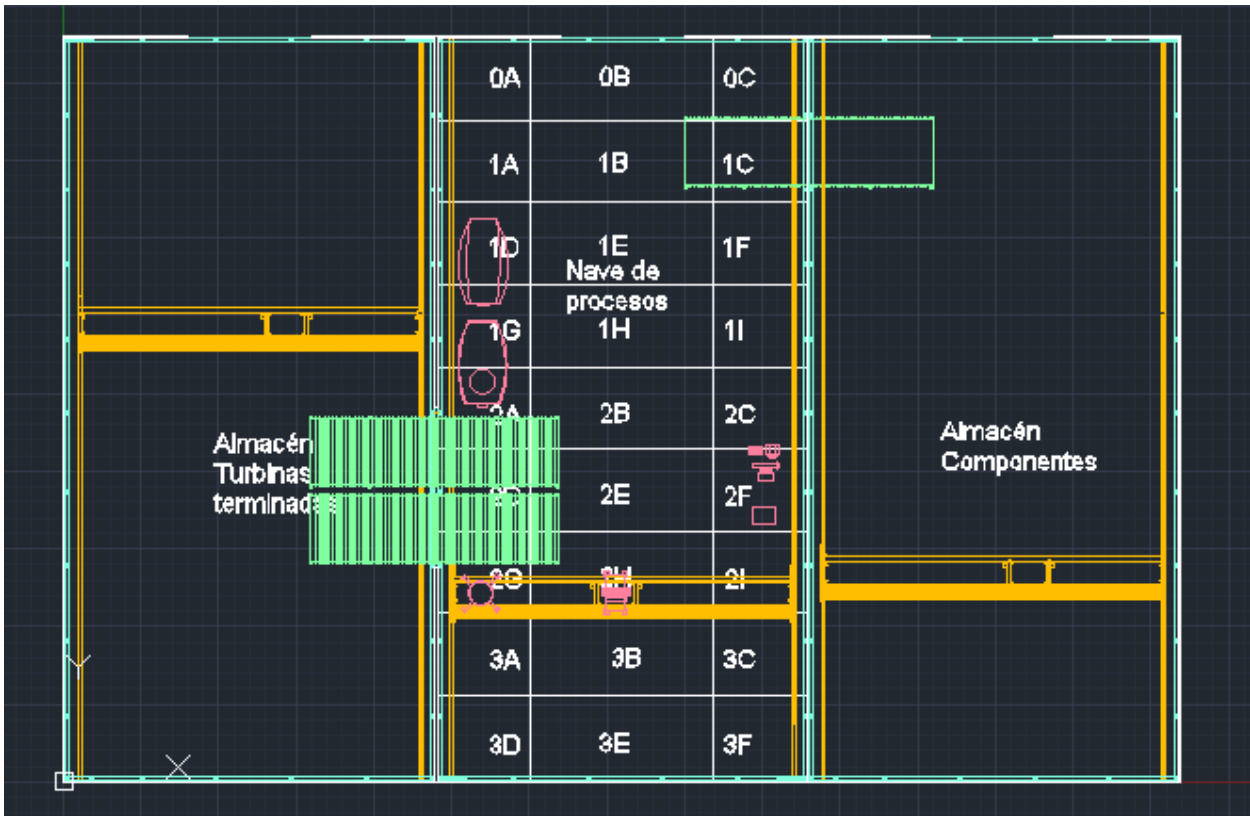


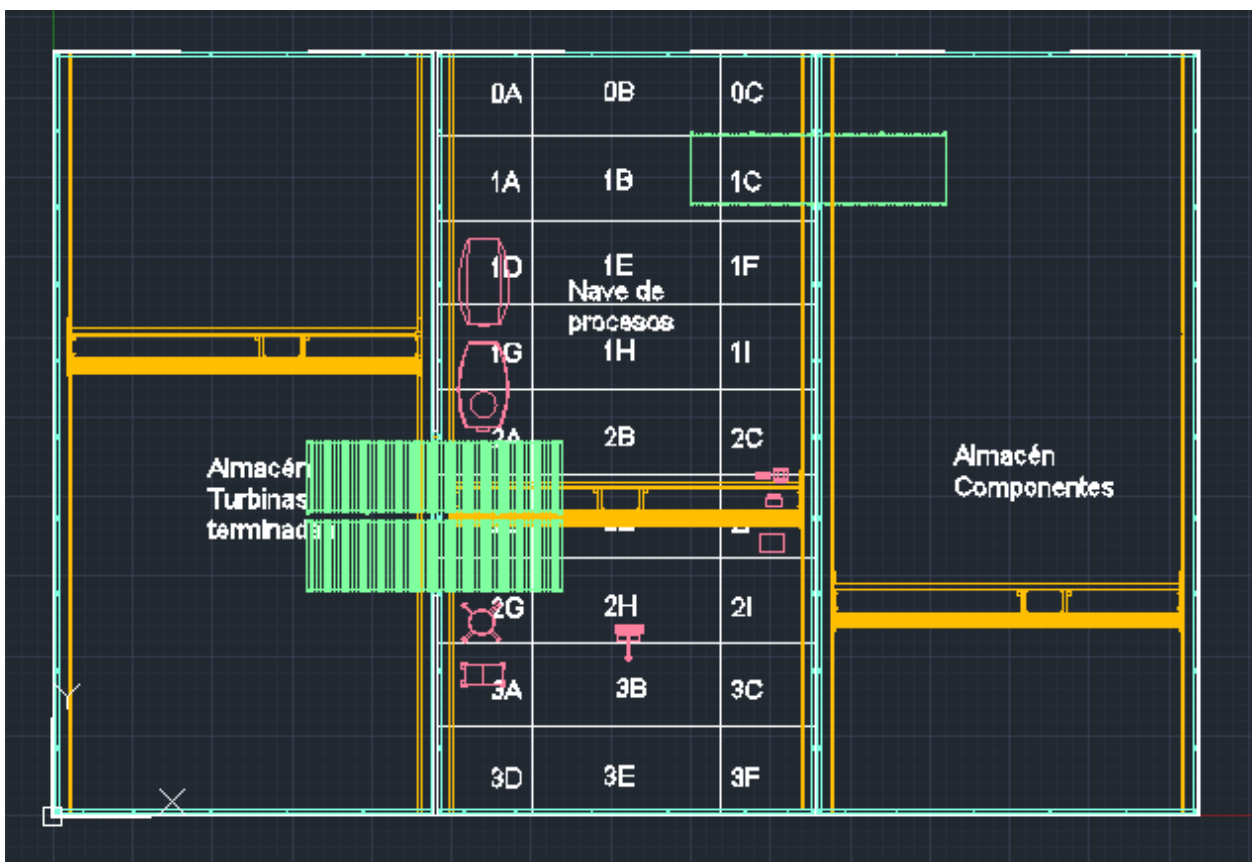
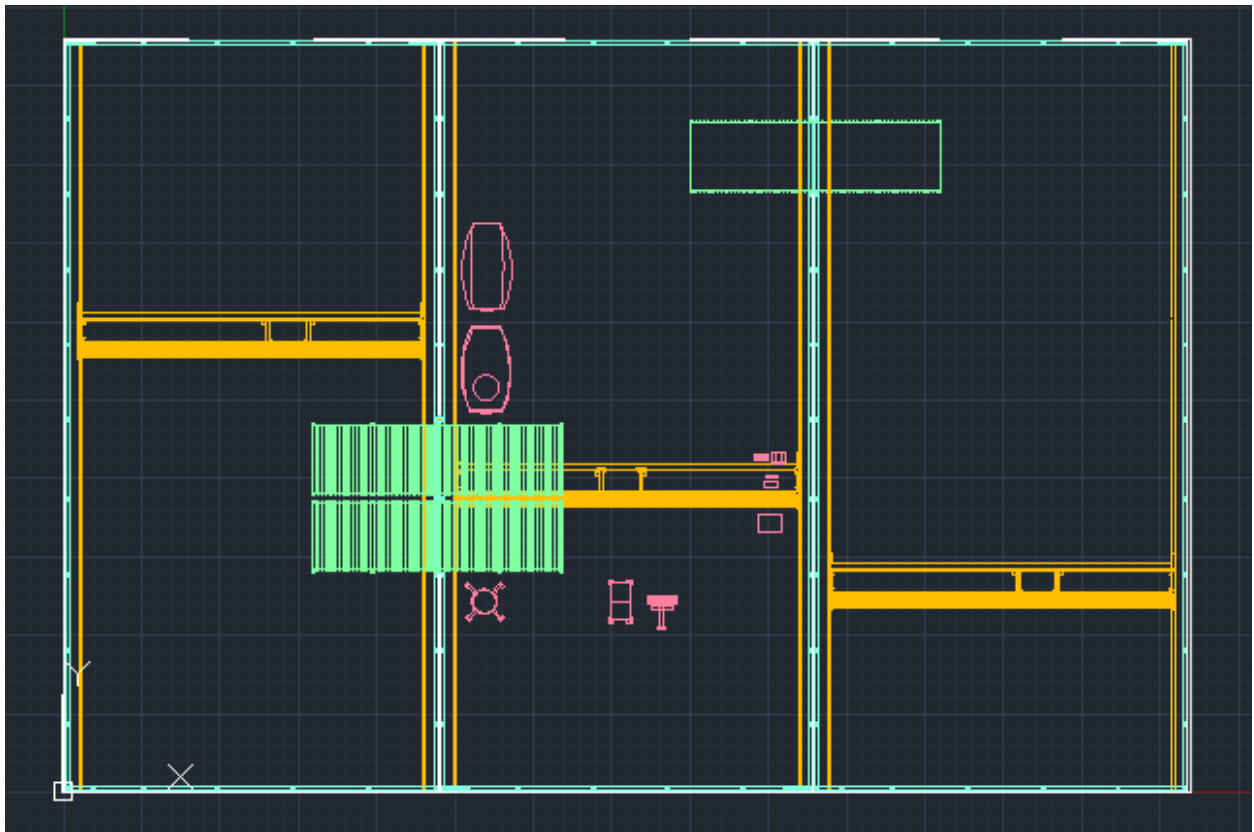


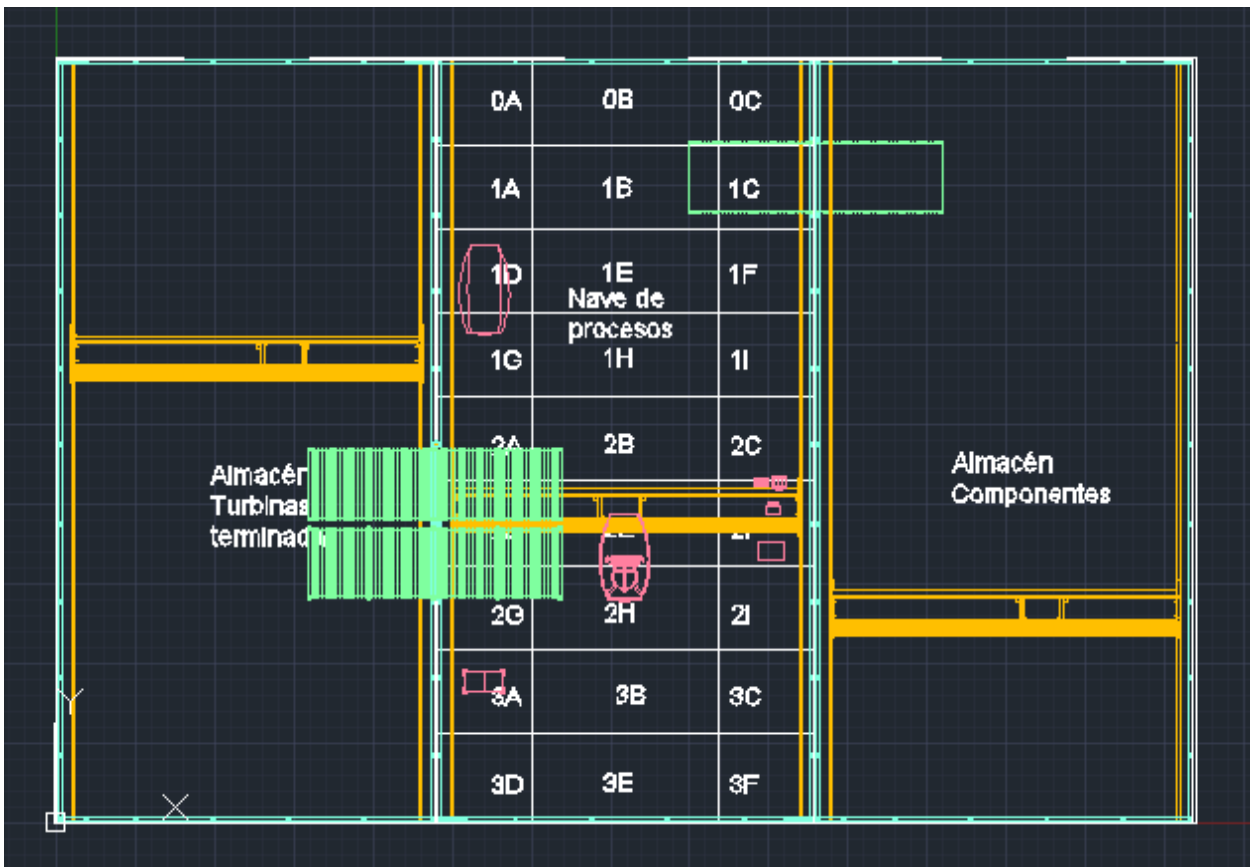
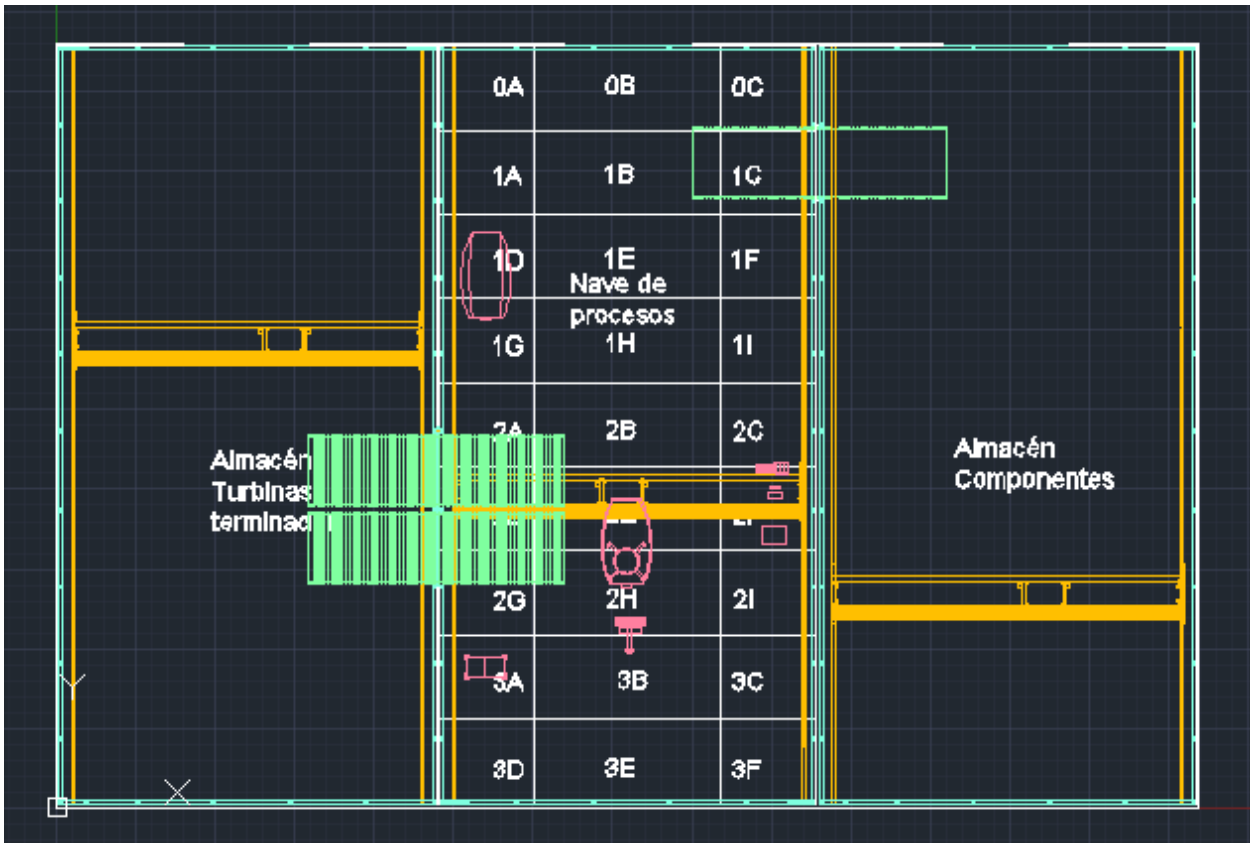


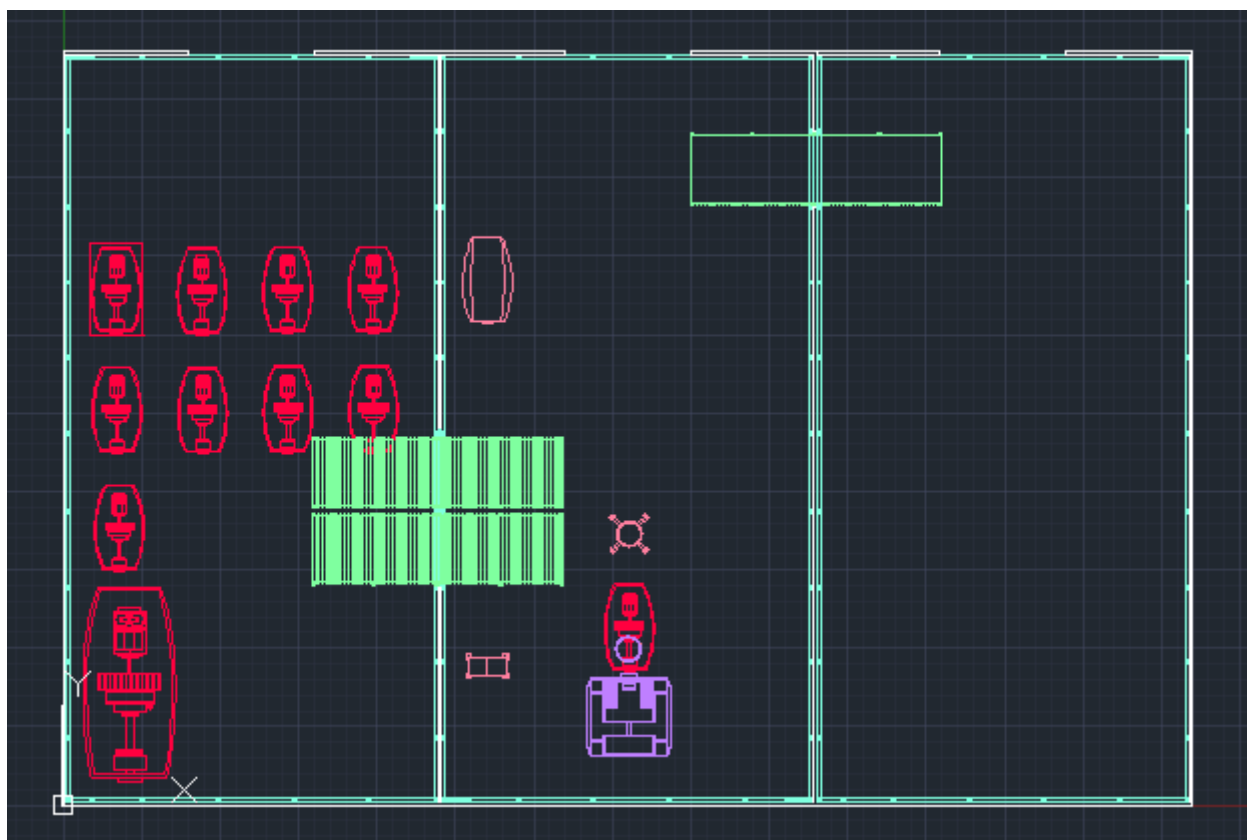
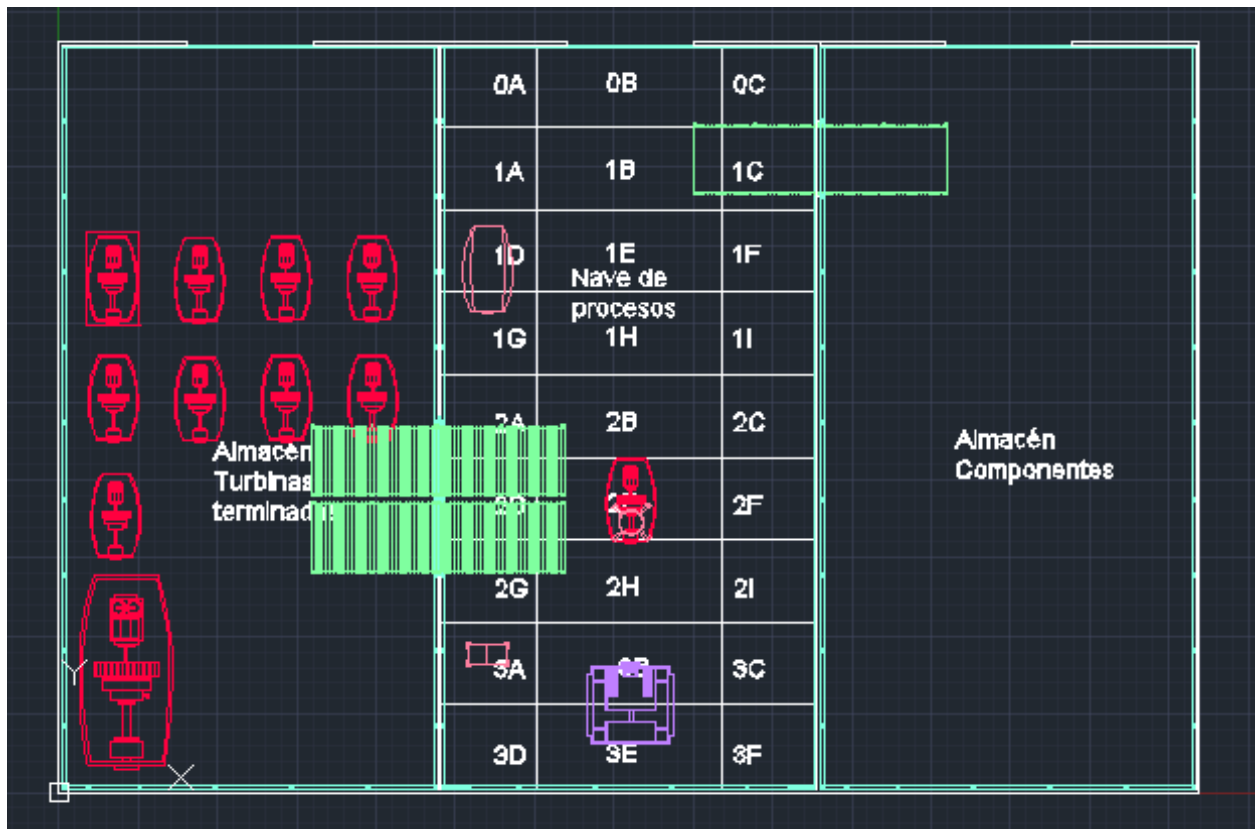


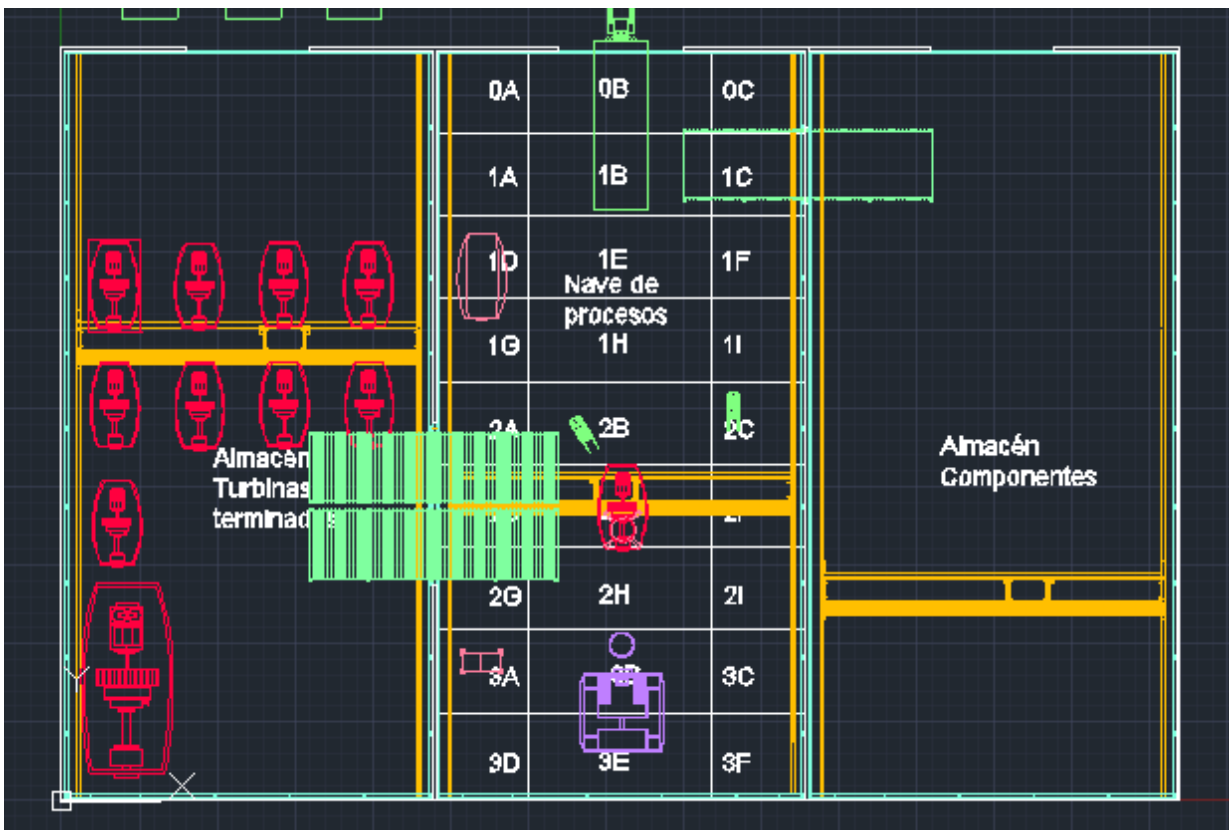
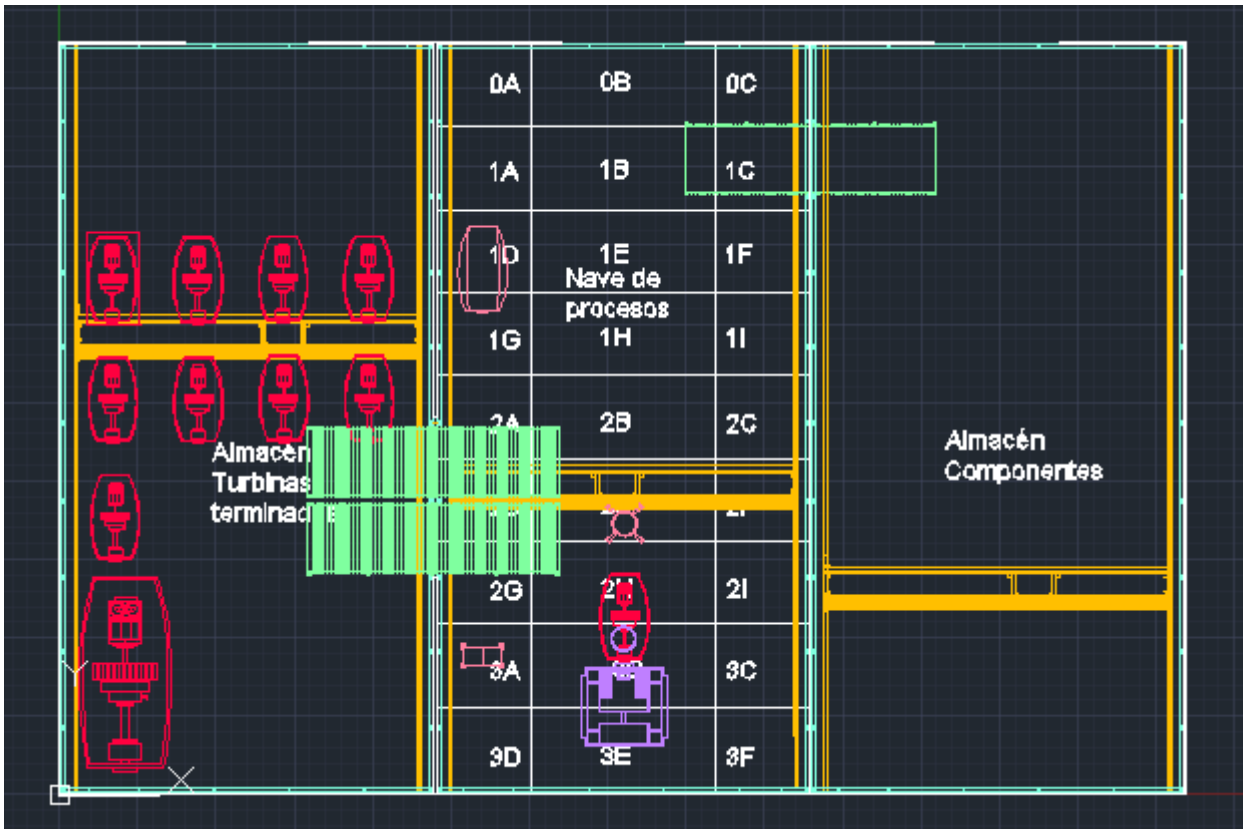


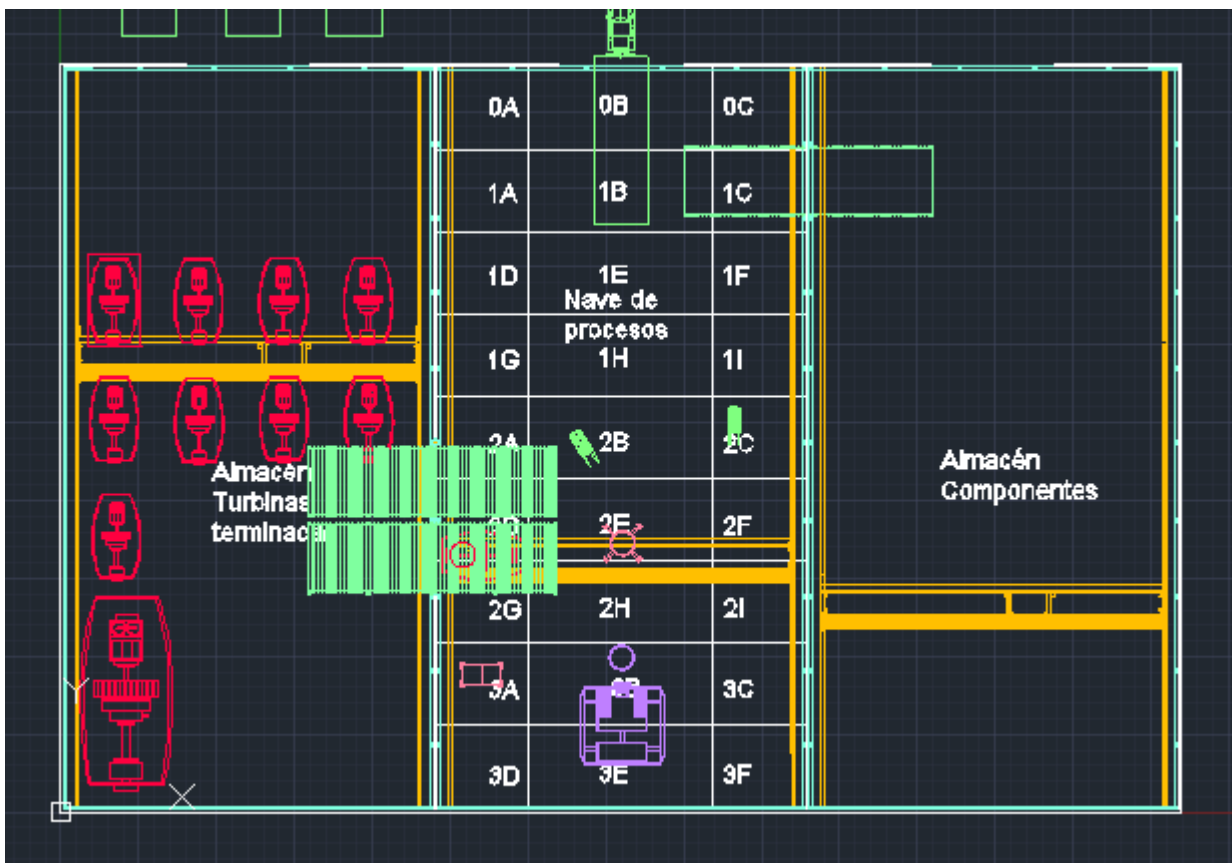
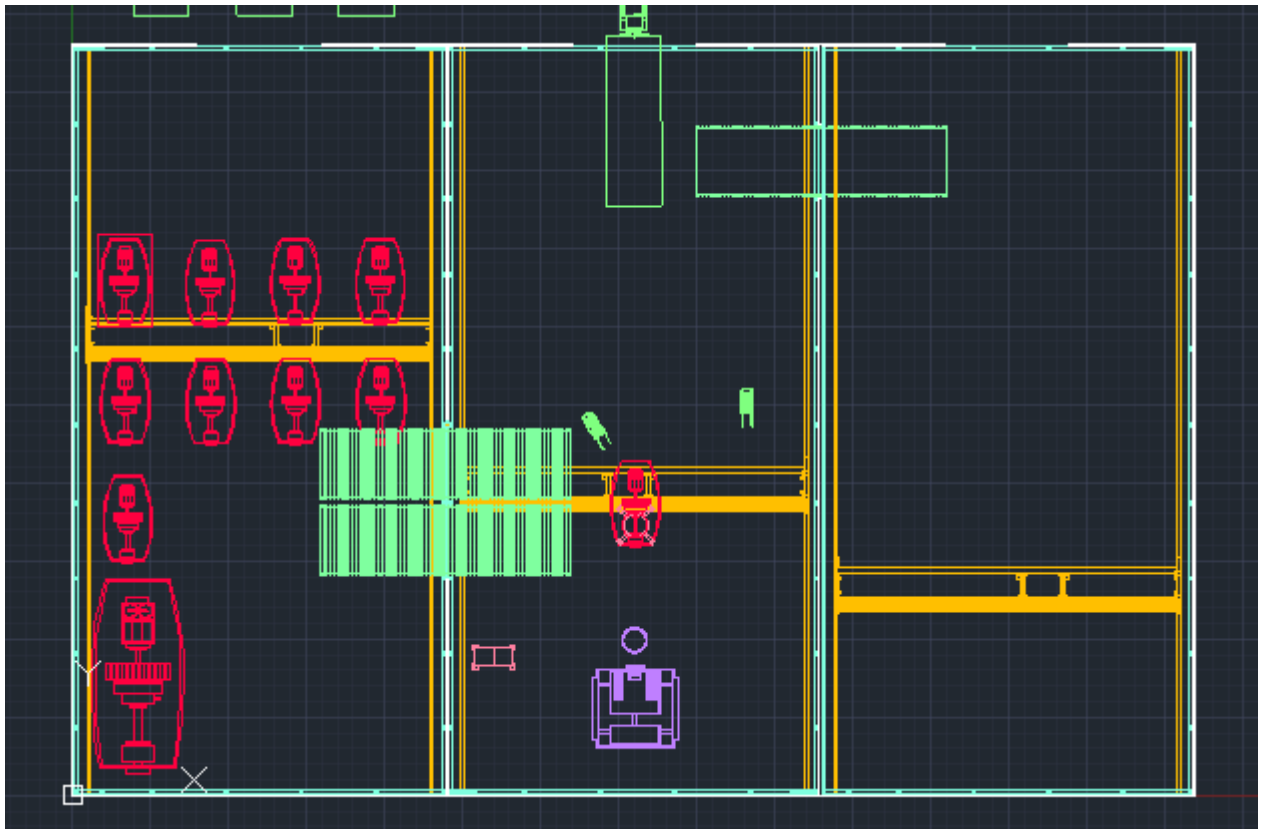


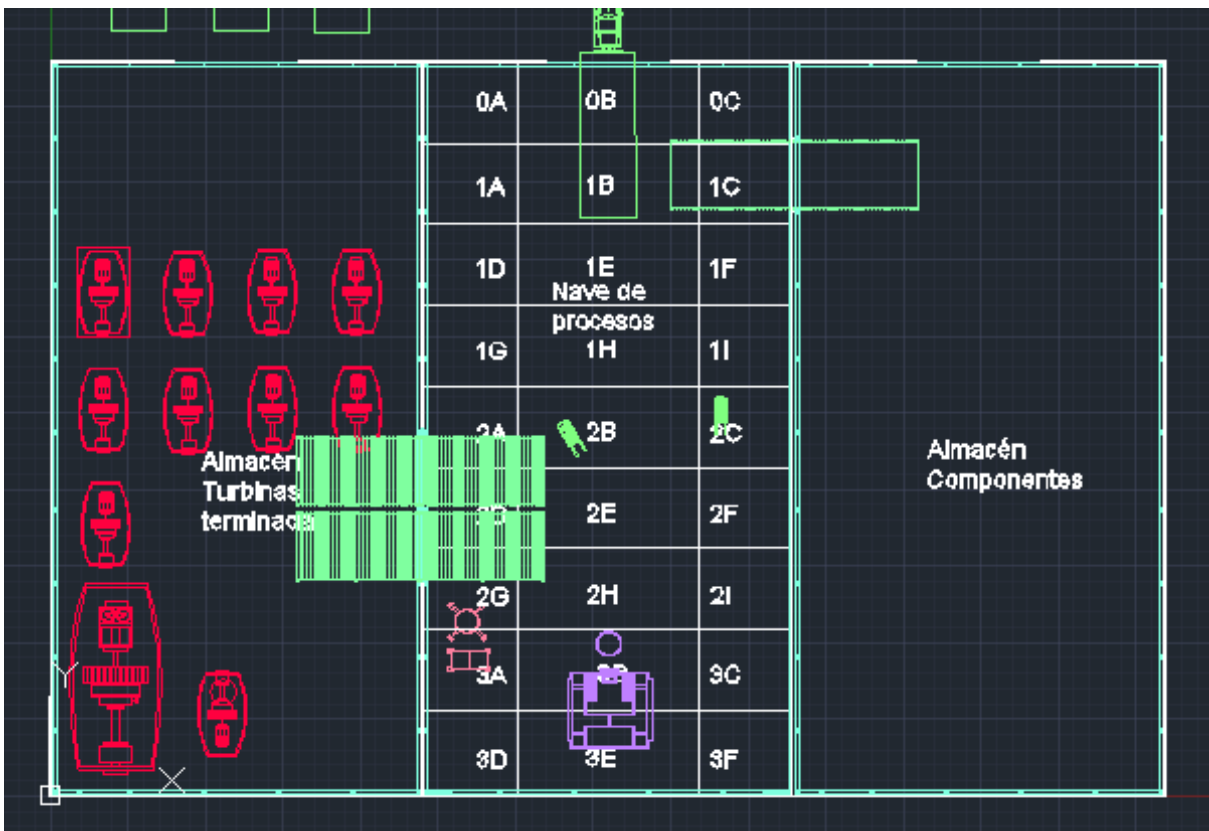
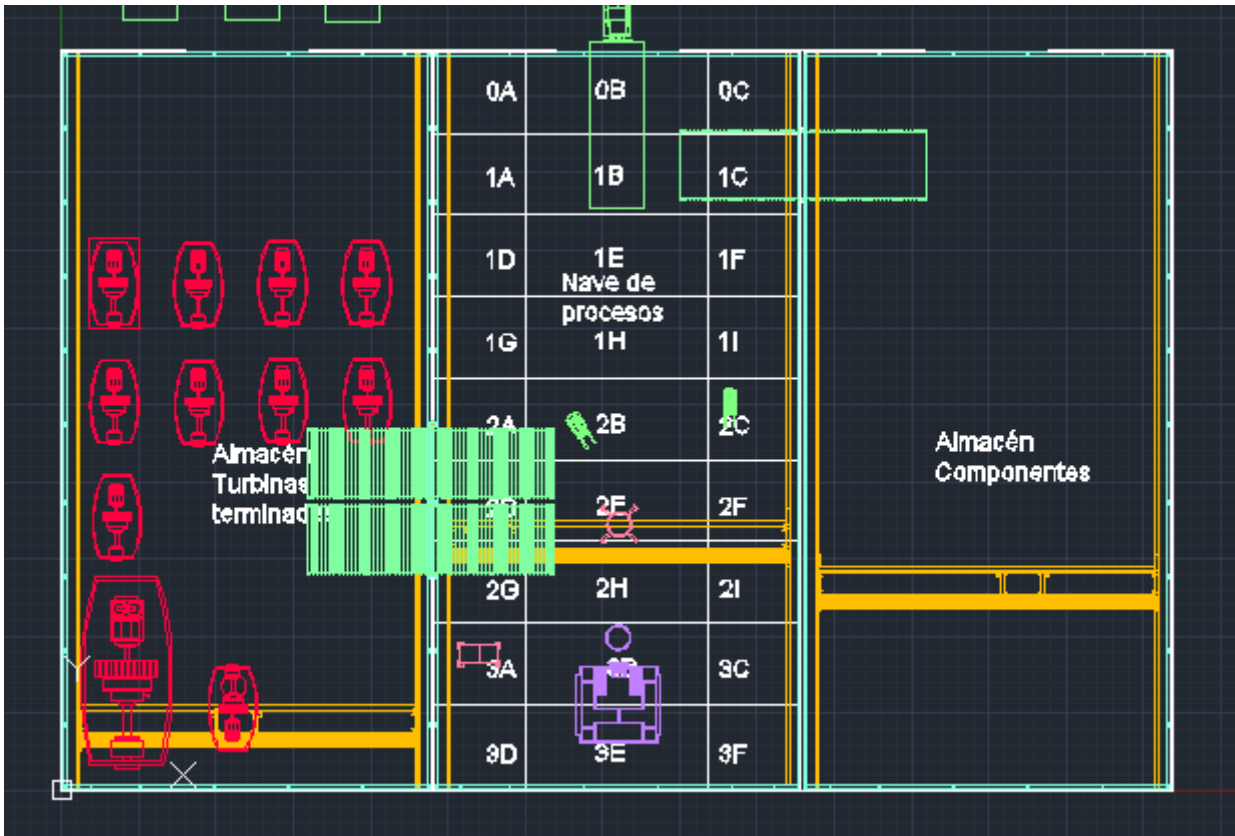




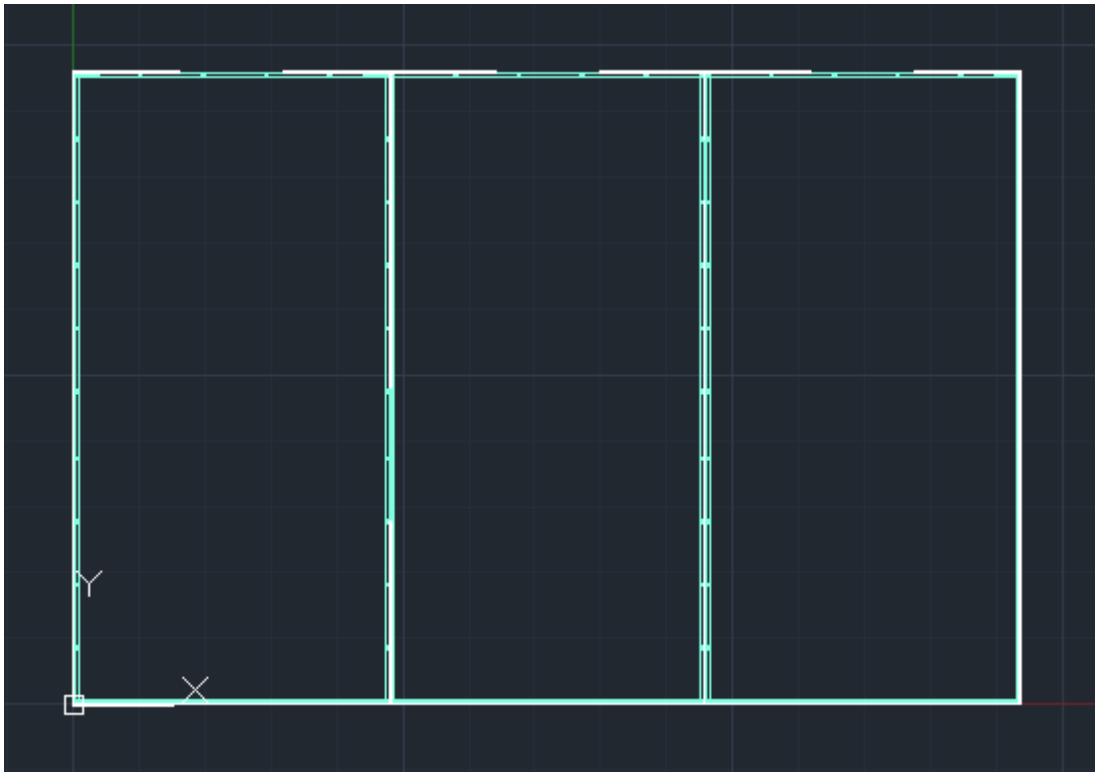








6. ESTRUCTURA



6.1. Tipología Estructural

6.1.1. Planta

El edificio donde implantar el proyecto será de 1 sola planta, debido a las necesidades de superficie y a un espacio diáfano, así se consigue circulaciones menos forzadas y un lay out más lógico.

6.1.2. Número de Naves

Utilizaremos naves múltiples, en concreto 2 naves adosadas, una nave la nave 1 para el proceso productivo, y la nave 2 para almacenamiento de insumos y productos semiterminados o ya acabados. La nave 1 no tendrá pilares intermedios ya que se necesita el espacio lo más diáfano posible, la nave 2 no necesita de pilares intermedios y que las estanterías serán en sí autoportantes.

6.1.3. Luz

La luz entre pilares será de 30 m para cada nave, estos 30 metros son necesarios por si se necesitara en algún instante concreta girar completamente la turbina.

6.1.4. Cubierta

Las cubiertas de las naves industriales, se diseñan a 2 aguas para permitir la evacuación de aguas.

Aparte de la iluminación artificial necesaria para iluminar la zona de trabajo, se incluirán lucernarios sobre paredes para facilitar de iluminación natural a las naves.

1.1.1.1.1 Sistema Estructural

Aunque concebir una estructura requiere de muchos parámetros y se pueda considerar incluso un arte, es sobretodo resultado de intuición experimentada, para llegar a la solución óptima deberemos probar con diferentes soluciones intermedias.

Lo primero que hay que establecer son las condiciones funcionales que constituyen el planteamiento de la cuestión a resolver, y distinguir entre las que son imprescindibles y aquellas secundarias que han de cumplirse en mayor o menor medida, habrá algunas complementarias a otras y algunas que serán contrapuestas unas de otras.

Algunas de las condiciones que ha de cumplimentar la estructura es la de delimitar el espacio donde se realizarán las tareas productivas y de almacenamiento, proteger del medio externo, soportar un puente grúa necesaria para realizar las actividades productivas.

6.2. Estructura Nave Industrial

6.2.1. Aspectos Básicos

La estructura será porticada y triangulada de acero S275 JR.

Dimensiones:

Se establecen las dimensiones necesarias para el proceso en cuestión junto a aspectos estructurales, económicos y confort, estas dimensiones garantizan la diafanidad del espacio, el correcto desplazamiento de materias primas, productos semiacabados, y terminados, sin obstáculos intermedios, así como el espacio necesario de la maquinaria que precisa.

Dimensión longitudinal $L=60\text{m}$

Dimensión transversal $T=30\text{m}$

Altura Libre $H=12\text{m}$

6.2.2. Tipología Estructural

La estructura de la nave que se escoge es estructura metálica, esto permite tener una estructura ligera con pilares esbeltos y al igual que los pilares, la celosía de cubierta, construyendo así un espacio diáfano sin elementos intermedios que puedan obstaculizar las diferentes operaciones que conlleva el ensamblaje de turbinas.

Los pilares son individuales separados entre sí cada 6 m. se suelen elegir perfiles HEB debido a que poseen algo más de inercia en su eje débil que los perfiles IPE.

Las cerchas de cubierta son a 2 aguas, tipo Warren con montantes continuos, todas las vigas, montantes y cordones son de tipo IPE con secciones diferentes en función de los esfuerzos e inestabilidades a los que se ven sometidos.

Las uniones, aunque atornilladas permiten en función de su disposición movimientos y giros relativos que permiten articular las uniones entre barras, la mejor tipología de uniones para estas vigas, es uniones fuertes en los cordones perimetrales, que permiten la continuidad total de las barras, y bulones que permitan el giro azimutal sobre el plano de la viga, en las barras interiores, las diagonales y los montantes, así se reducen los esfuerzos de flexión de esas barras, haciendo que trabajen sobre todo a axil, a compresión y tracción.

Los pilares, en su cabeza, están conectadas a las celosías de cubierta mediante tornillería, las uniones atornilladas ofrecen diversas ventajas frente a la soldadura, tanto durante su ejecución como durante su vida útil, algunas de éstas son: montaje más preciso, sin la necesidad de un operario especializado en soldadura, posibilidad de desmontar si fuera necesario, solamente es necesario una revisión cada cierto tiempo de que el par de apriete sea el correcto, se pueden obtener diferentes configuraciones de apriete por si se desea transmitir cierto momento o el momento completo, o el desplazamiento en una dirección dada, con todo son varias las ventajas que representan las uniones atornilladas frente a las soldaduras.

El puente grúa está conectado a las columnas mediante vigas cortas en voladizo, estos voladizos se diseñan con canto variable teniendo un aumento constante de su espesor siendo máximo en la proximidad al pilar debido a que los esfuerzos cortantes y de flexión son mayores progresivamente a medida que la viga se acerca al pilar.

En las primeras parejas de pórticos, así como en los últimos se colocan arrostramientos para evitar la traslacionalidad de la estructura sea superior a la unidad.

Entre los pilares al ser altos y esbeltos, se colocan 2 barras horizontales de arrostramiento, separadas entre sí 4 metros, así reducimos la esbeltez de pandeo ya que los esfuerzos de compresión y flexión

son importantes.

El mismo efecto ocurre en las vigas sobre las que actúan una flexión importante, pudiendo llegar a provocar cierto pandeo lateral, se decide arriostrar las vigas entre sí, reduciendo así la longitud crítica de pandeo.

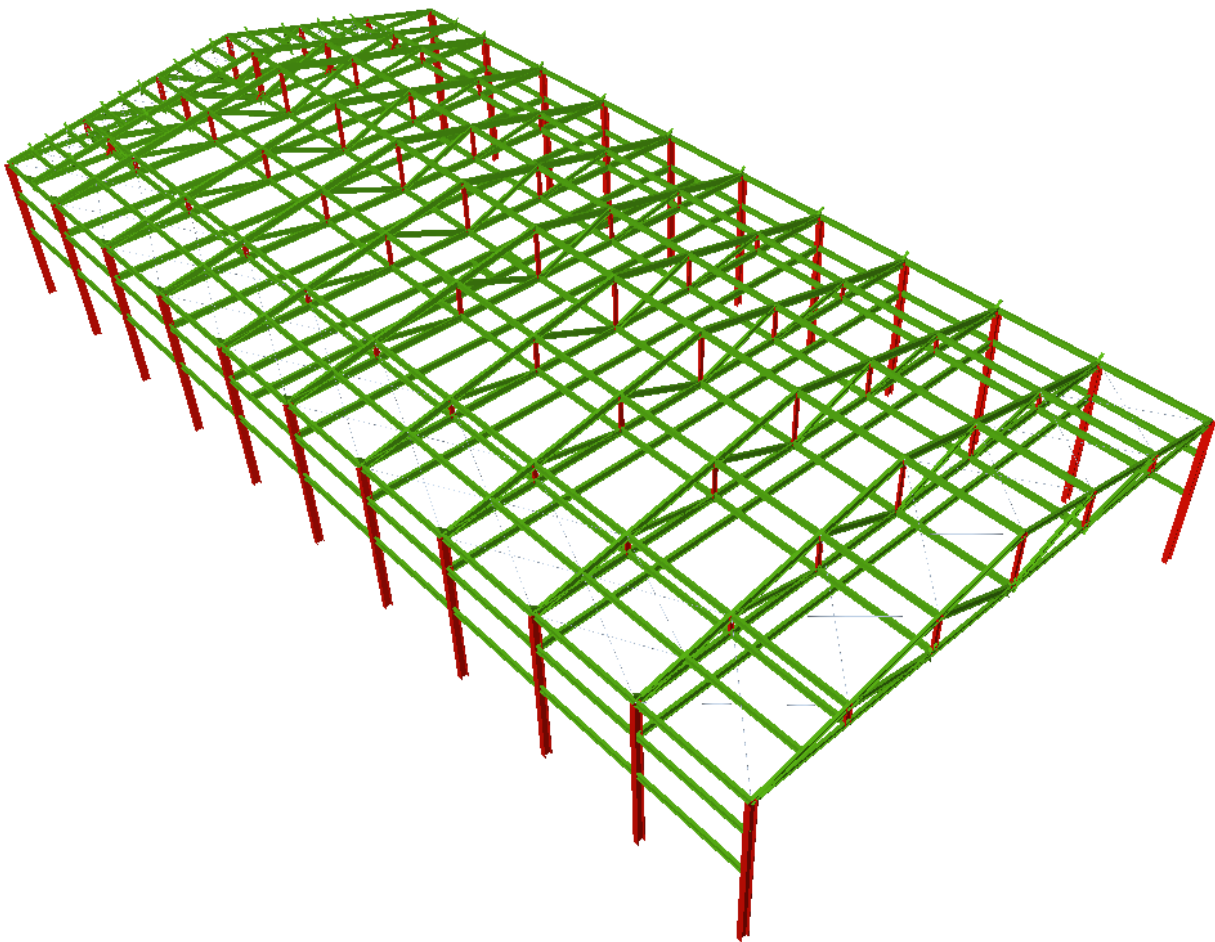


Ilustración 19.- Vista tridimensional de la estructura de la nave industrial

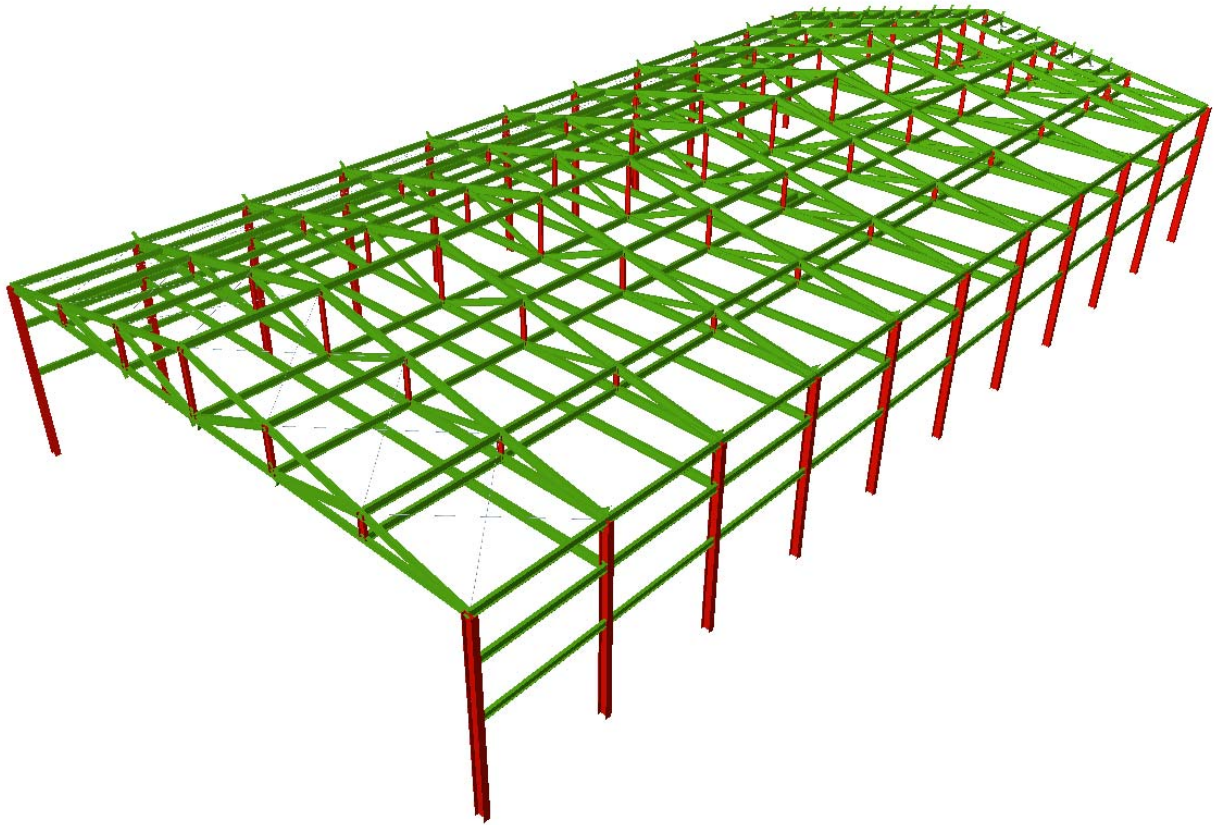


Imagen 2.2.2. Vista tridimensional de la nave industrial

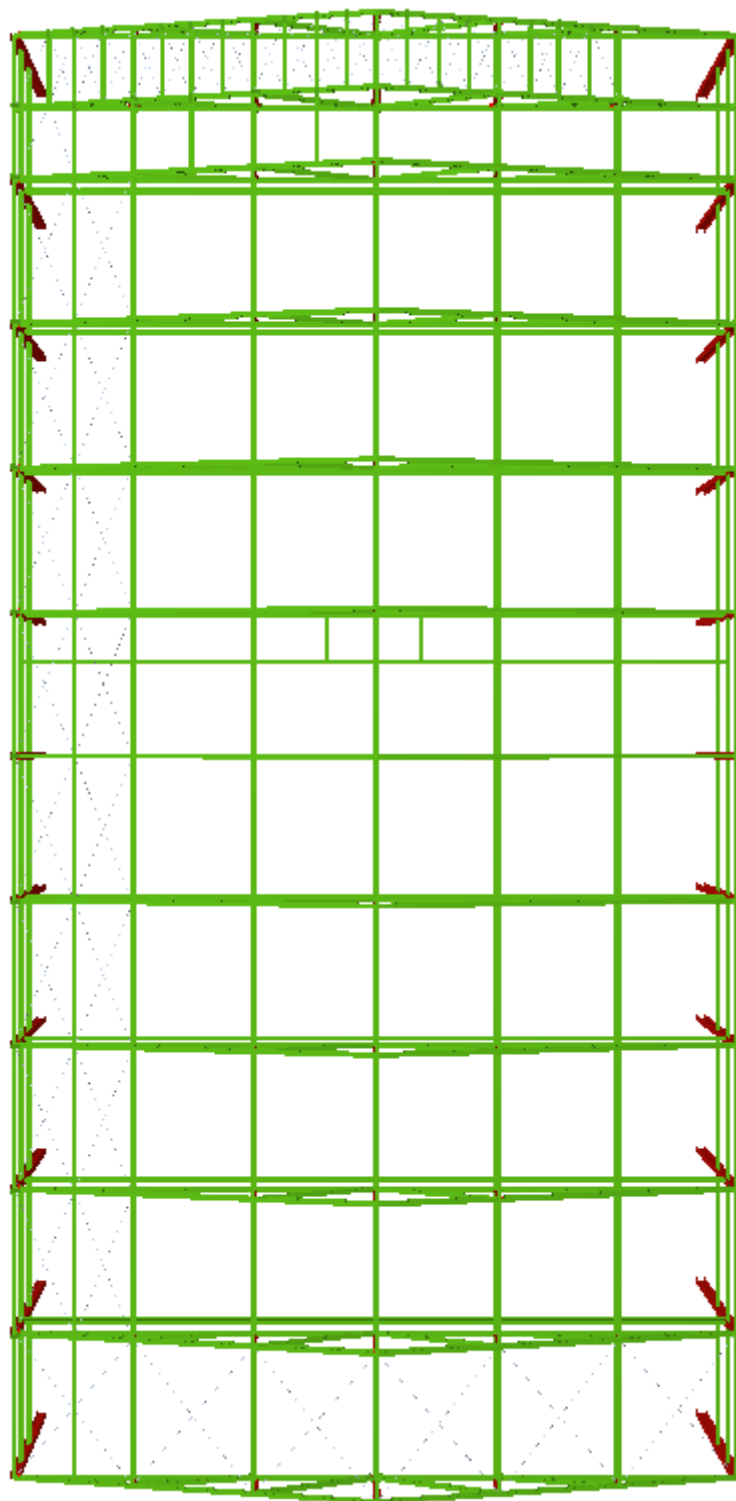


Imagen 2.2.2. Vista de planta de la nave industrial

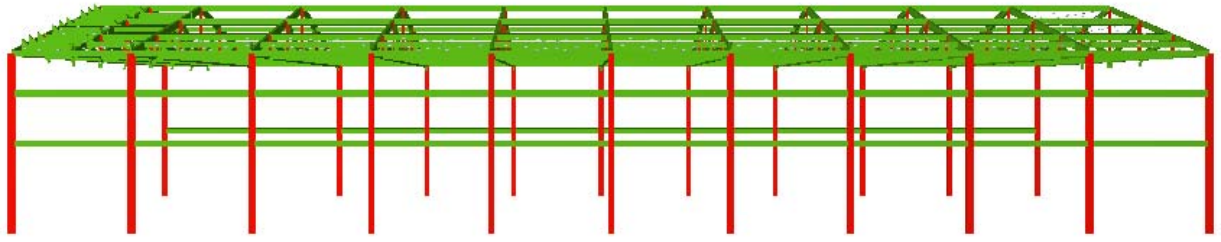


Imagen 2.2.4. Vista lateral de perfil de la nave industrial

6.2.3. Cargas

Las cargas que se aplican son: peso propio, carga de viento, nieve, sobrecarga de uso, peso grúa, aceleración de la grúa. De entre todas se tendrá que calcular cada perfil para la situación más desfavorable de caja eje.

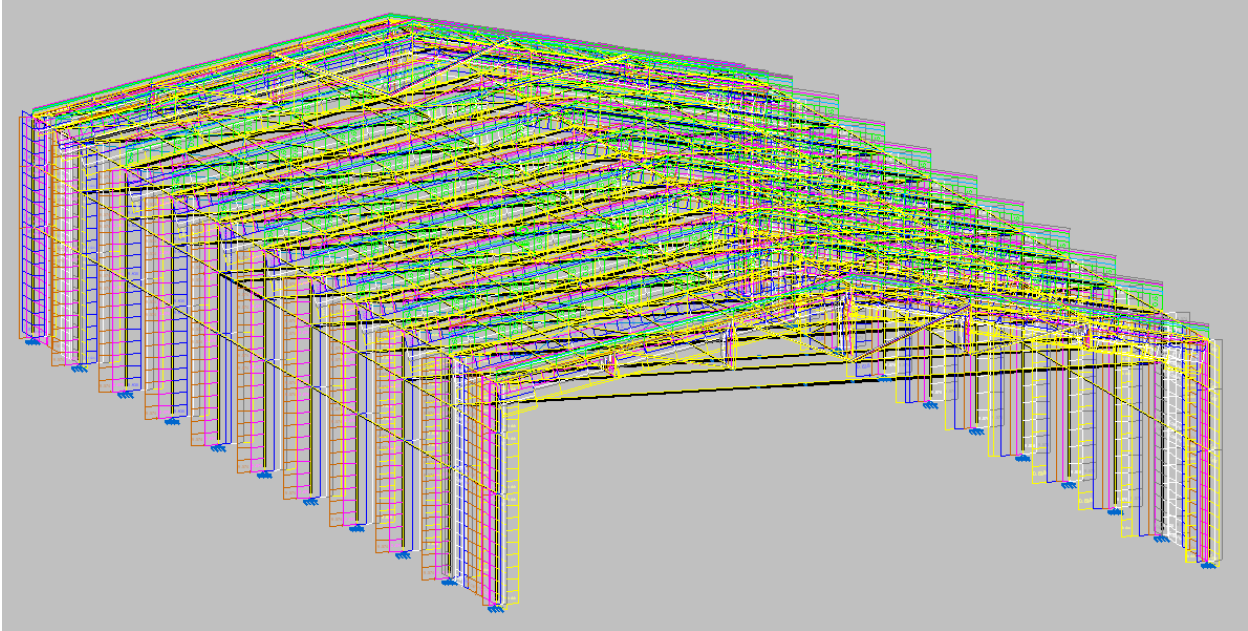


Imagen 2.2.3.1. Imagen de todas las cargas incidentes sobre la estructura.

6.2.3.1. Carga de peso propio

La carga de peso propio, viene definida por el material, en esto caso es de acero al carbono, densidad de 7850 kg/m^3 , y las dimensiones de las barras, largo y perfil, así como el peso de las uniones.

El valor máximo de esta carga se produce en las barras del cordón superior de las cerchas, con un valor de 0.155 KN/m .

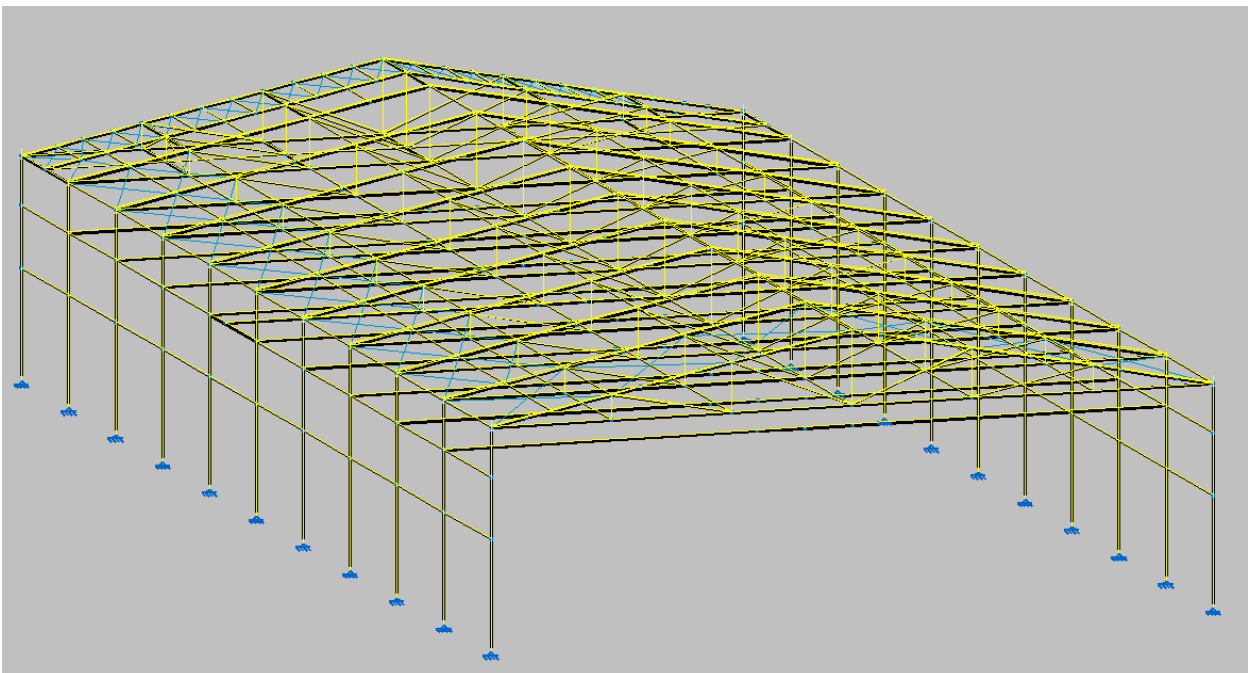


Imagen 2.2.3.2. Cargas de peso propio

6.2.3.2. Carga de Viento

La carga de viento es la correspondiente a la zona de Sevilla, zona de exposición A, en zonas industriales, alturas menores de 15 m. La carga de viento tiene múltiples direcciones, pero se suele reducir a las direcciones paralelas a los ejes X, Y y Z. Teniendo en cuenta tanto la incidencia como la succión del viento.

La carga máxima de viento es 0,4225 kN/m² de presión estática, y 0,3649 kN/m² de presión dinámica

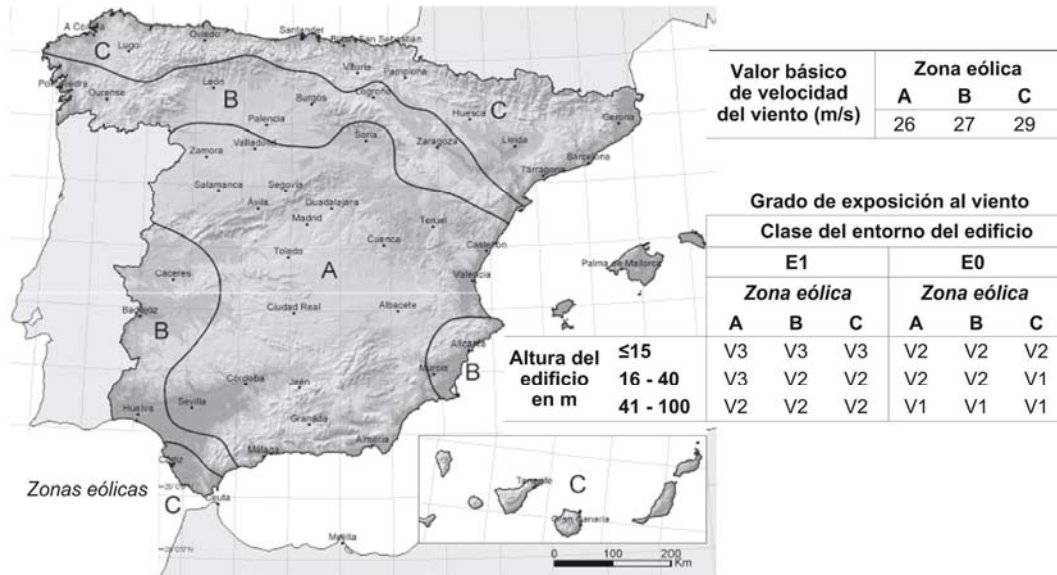


Imagen 2.2.3.3. Zonas eólicas de España

CTE DB SE-AE Anejo D

Velocidad básica del viento

$$V_b = 26 \frac{m}{s}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \frac{kg}{m^3} \cdot V_b^2$$

Presión dinámica

$$q_b = 0.4225 \frac{kN}{m^2}$$

Grado de aspereza (1-5)

$$gr = 5$$

$$k = 0.24$$

$$L = 1 \text{ m}$$

$$Z = 10 \text{ m}$$

z: Altura (z < 200m)

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

$$F = k \cdot \ln \left(\frac{\max(z, Z)}{L} \right)$$

$$F = 0.5526$$

$$c_e = F \cdot (F + 7 \cdot k)$$

Coeficiente de exposición

$$c_e = 1.2338$$

Coeficiente de presión exterior

$$C_p = -0.7$$

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot C_p$$

Presión estática

$$q_e = -0.3649 \frac{kN}{m^2}$$

Figura D.1 Valor básico de la velocidad del viento, v_b

Tabla D.2 Coeficientes para tipo de entorno

Grado de aspereza del entorno	Parámetro		
	k	L (m)	Z (m)
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	0,156	0,003	1,0
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	0,17	0,01	1,0
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	0,19	0,05	2,0
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	0,22	0,3	5,0
V Centro de negocios de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	0,24	1,0	10,0

Fuente: Smath

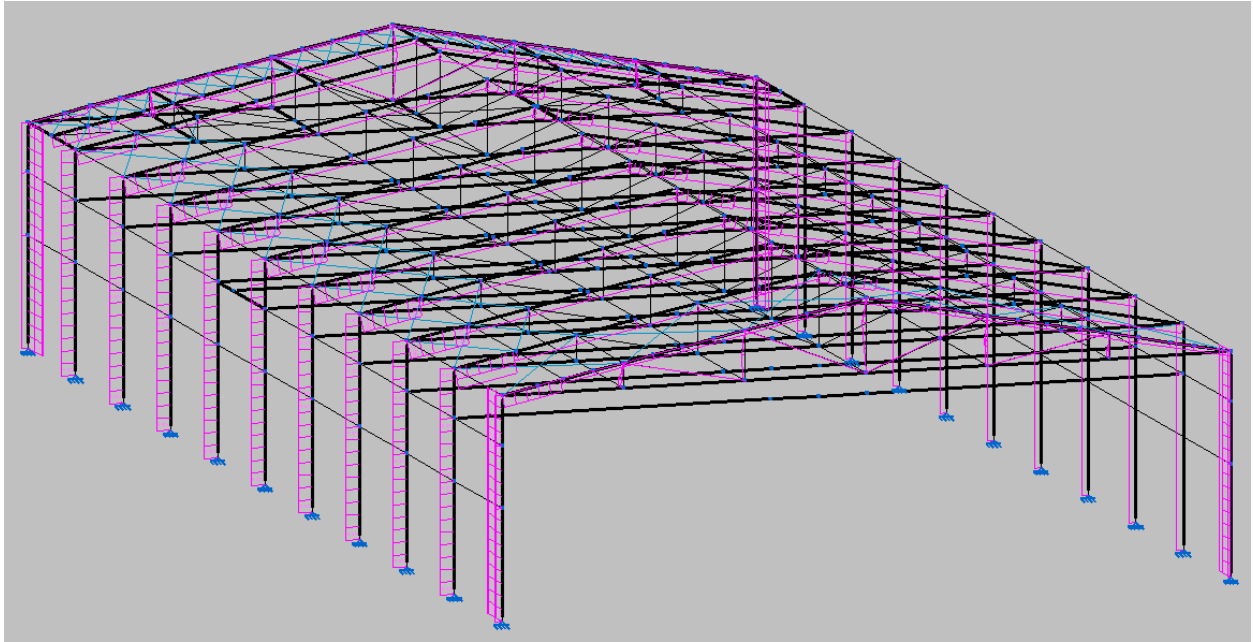


Ilustración 20 Carga de viento sobre la nave

6.2.3.3. Carga de Puente Grúa

La carga del puente grúa, y el peso que transporta el de la turbina, que sin duda es el peso máximo a transportar, es el peso crítico, con un peso 32 toneladas determina casi por completo los perfiles de las barras, para evitar el pandeo por compresión de los pilares, se incluyen arrostramientos en forma de k.

Además, el puente grúa induce esfuerzos debido a la aceleración de arrancar o parar el puente grúa.

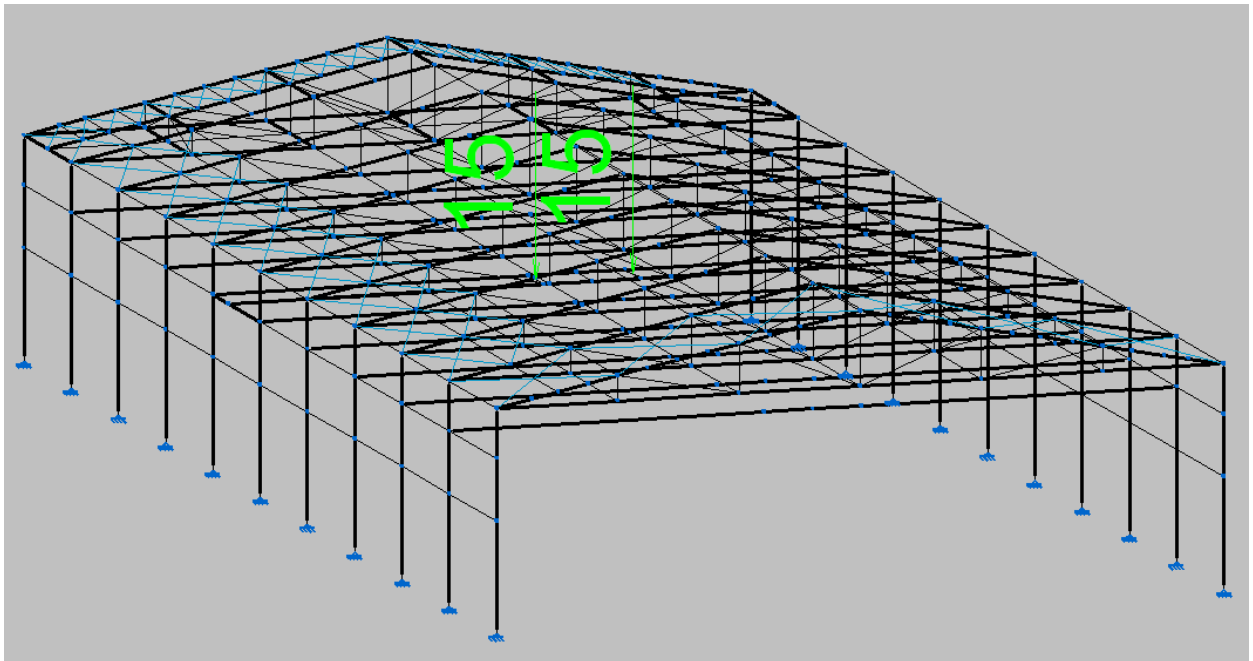


Ilustración 21.- Carga de puente grúa

Las cargas del puente grúa se colocan sobre los puntos más desfavorables, en este caso, el centro del vano, el problema de las cargas puntuales es el efecto de punzonamiento que genera, así como el momento de reacción en los extremos. Sin dejar de lado la inestabilidad que provoca el pandeo lateral inducido por flexión.

6.2.3.4. Cargas de Cubierta

Incluye el peso del panel sándwich, los aireadores estáticos, las luminarias. Con un peso de 0,45 Tn/m²

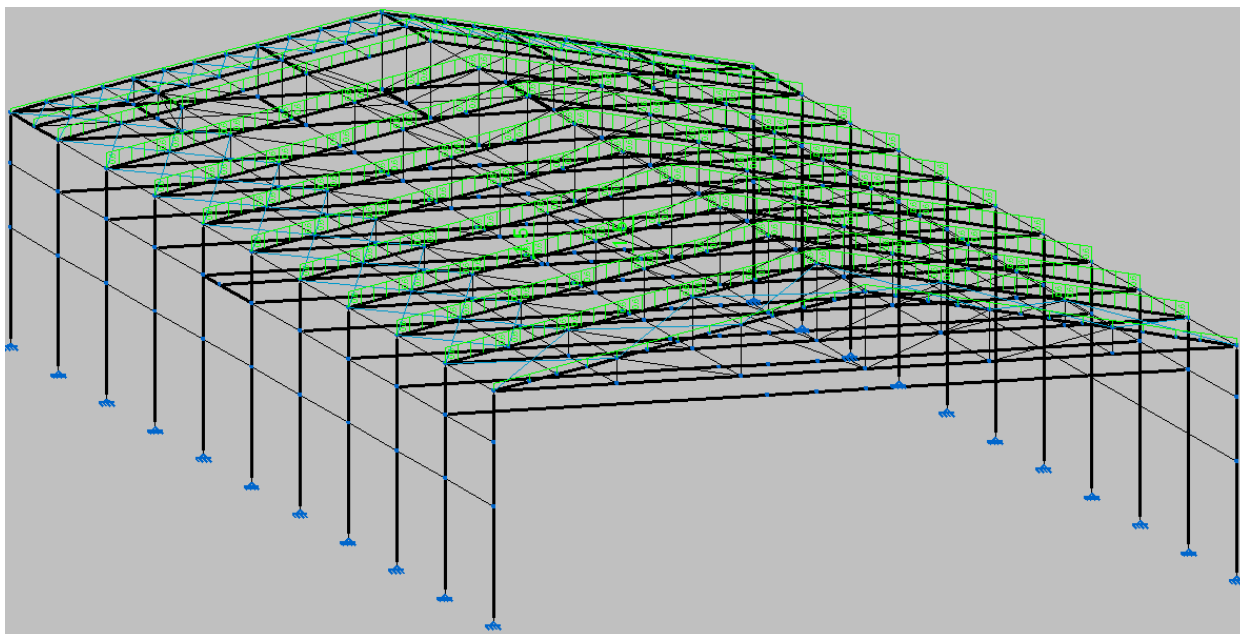


Ilustración 22.- Carga de Cubierta

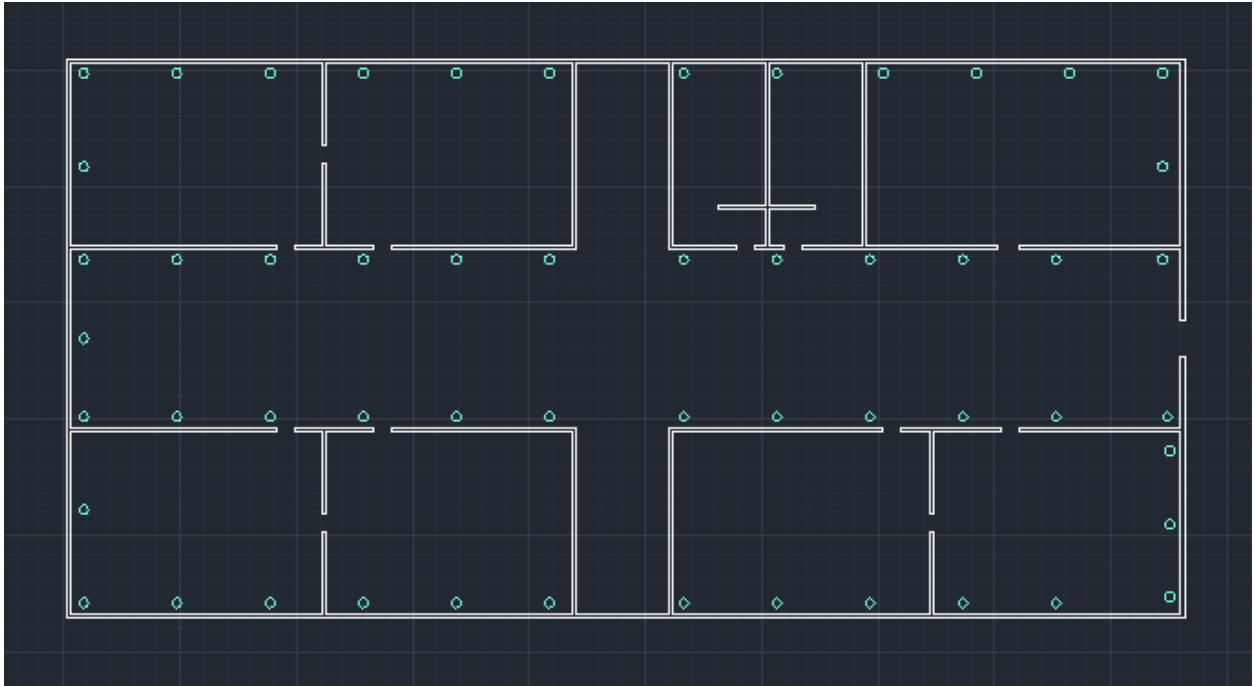
Para ver los cálculos consulte el anexo 1 de cálculo de estructuras.

6.2.4. Perfiles de Barras

Resumen de medición					
Material		Perfil	Longitud	Peso	
Tipo	Serie		Perfil (m)	Perfil (kg)	Peso (kg)
Acero Laminado S 275 JR	HEA	HE 220 A	480	24228,2	2422.82
		IPE 120	780	8.082,40	
		IPE 270	150	5404,7	
		IPE 220	1.700	44514,6	
		IPE 160	1.450	22874,7	
		IPE 300	350	14775,5	
		IPE 140	300	3862,2	
		IPE 200	120	2684,7	
		IPE 360	240	13696,7	
			IPE		
					118318,32

A 395 € por tonelada, equivale a 46.735 € la estructura metálica.

6.3. Estructura Oficina



Para las oficinas se define una solución constructiva diferente, en este caso la estructura elegida es de hormigón armado. Se elige el hormigón armado debido a que la diafanidad de espacio no es tan necesaria en las oficinas en comparación con las naves. Además, pueden suponer cierta mejora estética la elección de hormigón

7. INSTALACIONES

Las siguientes, son las instalaciones que necesita la planta industrial para funcionar y producir.

- 1) Alumbrado: es imprescindible una correcta iluminación para poder realizar cualquier operación de forma correcta, la luz necesaria dependerá de las acciones y el uso que se den en cada espacio. Tanto en interiores como exteriores.
- 2) Electricidad: para la gran mayoría de operaciones que se realizan a lo largo de todo el proceso de ensamblaje de turbinas, se necesita la electricidad, puente grúa, la maquinaria o las herramientas precisan de electricidad ya sea de baja o media tensión.
- 3) Ventilación: para mantener cierta calidad del aire y así cuidar de la salubridad de los operarios que trabajen en las naves es importante mantener la nave ventilada y así renovar el aire.
- 4) Cerramientos: para proteger del medio ambiente las naves y todo su interior se necesitan envolventes tanto verticales como las paredes como horizontal, cubierta y suelo.
- 5) Suministro de Aguas: tanto potable como sin potabilizar para la higiene de los empleados, limpieza del local, de componentes o productos, o en caso de necesidad.
- 6) Evacuación de Aguas: en caso de lluvia o nieve, es conveniente tener un sistema que permita salir las posibles acumulaciones en cubierta de las aguas que ahí se depositen. No sólo las aguas atmosféricas, sino posibles aguas que puedan fluir dentro de las naves, por ejemplo, para limpieza.
- 7) Saneamiento: para mantener las condiciones higiénicas que se exigen en entornos industriales.
- 8) Telecomunicaciones: para comunicarse tanto con el exterior como para las comunicaciones internas entre empleados.
- 9) Protección Contra Incendios: para la seguridad en caso de fuego incontrolado.
- 10) Infraestructuras de transporte: se necesitan carreteras y caminos para la circulación de camiones, coches, carretillas ya sea en el interior de las naves o en el exterior.
- 11) Aire Comprimido: algunas herramientas funcionan a base de aire comprimido, así como la limpieza de algunas piezas que no se deben mojar.

7.1. Alumbrado

El sistema de iluminación elegido es el directo caracterizado porque todo el flujo de las luces irá dirigido hacia el suelo, es el sistema más económico de iluminación y que ofrece mayor rendimiento luminoso, no obstante, el riesgo de deslumbramiento es muy alto. Se consigue utilizando luminarias directas.

El método elegido es el alumbrado general localizado que proporciona una luz uniforme de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo.

Las necesidades de iluminación dependen de la utilidad a la que se dará el local en cuestión, según la norma correspondiente al CTE DB HE Ahorro de Energía la luminancia vendrá impuesta por las condiciones de exposición y la configuración del local:

1 Para determinar el cálculo y las soluciones luminotécnicas de las instalaciones de iluminación interior, se tendrán en cuenta parámetros tales como:

- a) el uso de la zona a iluminar
- b) el tipo de tarea visual a realizar
- c) las necesidades de luz y del usuario del local
- d) el índice del local K o dimensiones del espacio (longitud, anchura y altura útil)
- e) las reflectancias de las paredes, techo y suelo de la sala
- f) las características y tipo de techo
- g) las condiciones de la luz natural
- h) el tipo de acabado y decoración
- i) el mobiliario previsto

2 Se obtendrán como mínimo los siguientes resultados para cada zona:

- a) valor de eficiencia energética de la instalación VEEI;
- b) iluminancia media horizontal mantenida E_m en el plano de trabajo
- c) índice de deslumbramiento unificado UGR para el observador.

Asimismo, se incluirán los valores del índice de rendimiento de color (R_a) y las potencias de los conjuntos lámpara más equipo auxiliar utilizados en el cálculo. 3 Se obtendrán como mínimo los siguientes resultados para el edificio completo:

- a) valor de potencia total instalada en lámpara y equipo auxiliar por unidad de área de superficie iluminada.

Una iluminación inadecuada en el trabajo puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes. El trabajo con poca luz daña la vista. El grado de seguridad con el que se ejecuta el trabajo depende de la capacidad visual y ésta depende, a su vez, de la cantidad y calidad de la

iluminación. Un ambiente bien iluminado no es solamente aquel que tiene suficiente cantidad de luz.

No todas las actividades relacionadas con la industria y la actividad productiva requieren el mismo nivel de iluminación. En una misma planta industrial suele haber distintas áreas destinadas a diferentes actividades o procesos, y cada una de ellos tiene unos requisitos o necesidades de iluminación concretos.

Industrias de alta precisión, área de producción: de 1000 a 5000 lux.

- Industrias de precisión, área de producción: de 600 a 2000 lux.
- Industrias ordinarias, área de producción: de 300 a 800 lux.
- Industrias bastas, área de producción: de 200 a 600 lux
- Talleres de montaje de piezas pequeñas: de 500 a 1200 lux.
- Talleres de montaje de piezas medianas: de 350 a 1000 lux.
- Trabajos muy finos en banco o máquina: de 1000 a 3000 lux.
- Depósitos y almacenes: entre 50 y 400 lux.
- Embalaje: entre 100 y 400 lux.
- Cámaras frigoríficas: entre 100 y 250 lux.

Para conseguir un buen nivel de confort visual se debe conseguir un equilibrio entre la cantidad, la calidad y la estabilidad de la luz, de tal forma que se consiga una ausencia de reflejos y de parpadeo, uniformidad, ausencia de excesivos contrastes, etc. Todo ello, en función tanto de las exigencias visuales del trabajo como de las características personales de cada persona. Una iluminación incorrecta puede ser causa, además, de posturas inadecuadas que generan a la larga alteraciones músculo-esqueléticas.

- Mesas de trabajo, administrativo: 400 a 700 lux.
- Mesas de dibujo, diseño: de 600 a 1500 lux.
- Salas de reuniones, juntas (iluminación general): de 200 a 350 lux.
- Salas de reuniones, juntas (sobre la mesa): 400 a 700 lux.
- Archivos: de 100 a 400 lux
- Zonas de paso: de 150 a 500 lux

Ascensores, interior: 300-500 lux

- Rellanos: 50-250 lux
- Escaleras: 100-300 lux

Debido a que se necesita un nivel de iluminación alto la iluminación natural no es suficiente ya que no ofrece la uniformidad necesaria por ello se ha de complementar junto a instalaciones de alumbrado artificial, así también reducimos los contrastes y sombras, así como permitir la iluminación durante la noche o días de cielo nuboso.

Para introducir en las naves luz natural incluimos lucernarios hechos de plástico en la zona superior de las paredes, a bastante altura para evitar distracciones de los operarios y dejar libre el espacio inferior.

En cuanto a la iluminación artificial, tanto la general de la nave como alguna iluminación puntual para tareas que precisen de cierta iluminación específica sobre un punto en concreto vendrán dada por la actividad que se desarrolle.

La norma UNE 72-112-85 realiza la siguiente clasificación:

Clasificación de las zonas de trabajo	Niveles mínimos de Em (lux)
(D) Fácil	200
(E) Normal	500
(F) Difícil	1000
(G) Muy difícil	2000
(H) Complicada	5000

Tabla 14.- Iluminancia según la clasificación de la zona de trabajo

Algunas tareas visuales según UNE 72 – 112 – 85.

- Categoría D. Manejo de máquinas herramienta pesadas, lavado de automóviles, etc.
- Categoría E. Trabajos comerciales, reparación de automóviles, planchado y corte en trabajos de confección, etc.
- Categoría F. Escritura y dibujo con tinta, ajuste en mecánica, selección industrial de alimentos, etc.
- Categoría G. Escritura y dibujo con lápiz, costura en actividades de confección, etc.
- Categoría H. Montaje sobre circuitos impresos, trabajos de relojería, igualación de colores, etc.

La zona de trabajo a evaluar estaría comprendida entre lo (D) normal y lo (F) difícil, y haciendo caso de demás bibliografía (Rafael de Heredia, Arquitectura Industrial) podemos decir que una iluminación de 750 lux es óptima.

Hay 2 tipos de iluminación natural y artificial, la iluminación natural es siempre recomendable, por temas de salud y salubridad, no modifica los patrones de sueño, permite el ahorro de energía, y cierta iluminación general, lo malo es que no permite la iluminación en ciertas zonas concretas, puede inducir contrastes y es susceptible a oscurecerse en horas crepusculares y de madrugada.

Como no son iguales las necesidades lumínicas en las zonas de producción, que, en las zonas de almacenamiento, las oficinas, o las zonas exteriores, hay que escoger la iluminación acorde al uso del local:

Zona	Iluminancia (lux)	Área (m2)	Flujo Luminoso (lum)	Luminarias
Exteriores	200	100	301204,8193	24

Nave Producción	750	1800	2033132,53	157
Nave de Componentes	500	1800	1355421,687	105
Nave de Turbinas	500	1800	1355421,687	105
Oficinas	500	1800	1355421,687	105

Tabla 15.- Iluminación por zonas

Para la iluminación artificial se escoge la marca comercial Philips, en concreto el modelo Gentle Space gen 2, esta es una iluminación LED, de coste económico de adquisición bajo, vida útil elevada y flujo eléctrico bajo.

Métodos de Alumbrado

Alumbrado general proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Es un método de iluminación muy extendido y se usa habitualmente en oficinas, centros de enseñanza, fábricas, comercios, etc. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local.

Alumbrado general localizado proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto que la luz se concentra allá donde hace falta. Claro que esto presenta algunos inconvenientes respecto al alumbrado general. En primer lugar, si la diferencia de luminancias entre las zonas de trabajo y las de paso es muy grande se puede producir deslumbramiento molesto. El otro inconveniente es qué pasa si se cambian de sitio con frecuencia los puestos de trabajo; es evidente que si no podemos mover las luminarias tendremos un serio problema. Podemos conseguir este alumbrado concentrando las luminarias sobre las zonas de trabajo. Una alternativa es apagar selectivamente las luminarias en una instalación de alumbrado general.

Alumbrado localizado se utiliza cuando se necesite una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto. El ejemplo típico serían las lámparas de escritorio. Recurriremos a este método siempre que el nivel de iluminación requerido sea superior a 1000 lux, haya obstáculos que tapen la luz proveniente del alumbrado general, cuando no sea necesaria permanentemente o para personas con problemas visuales. Un aspecto que hay que cuidar cuando se emplean este método es que la relación entre las luminancias de la tarea visual y el fondo no sea muy elevada pues en caso contrario se podría producir deslumbramiento molesto.

Características

- Eficiencia hasta 143 lm/W
- T ambiente hasta 45 °C.
- Cumple la norma EN-12464-1
- Regulación Dali.
- Diseño exclusivo
- IRC \geq 80
- Vida 70.000 horas (L70).
- Nuevas instalaciones o en sustituciones punto por punto de HPI 250 W, HPL 400 W o HPI 400 W, con reducción del consumo de energía del 45% como mínimo.

Tipo: BY470P

Flujo luminoso: 13000 lm

Potencia: 95 W

Potencia total será de 36,1 kW



Ilustración 23.- Vista en perspectiva de la luminaria

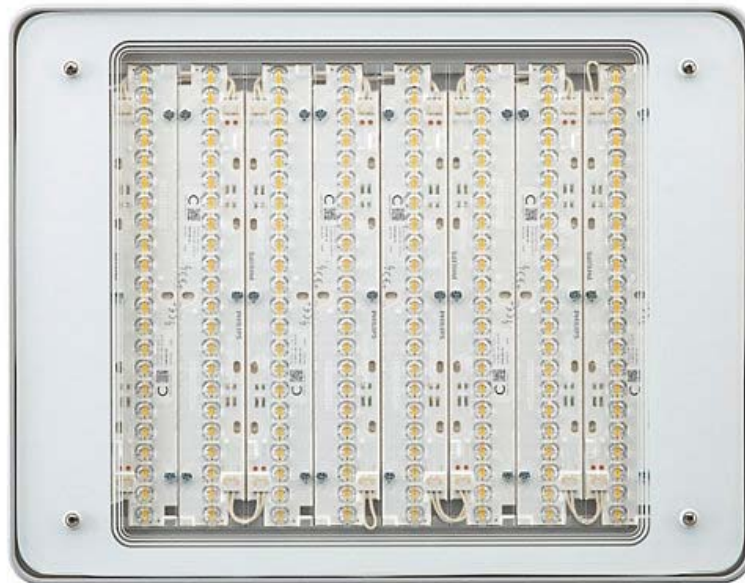


Ilustración 24.- Vista inferior de planta de luminaria



Ilustración 25.- Vista Superior planta de la luminaria

La disposición que se elige para las 160 luminarias de la nave de producción de turbinas es la de 16 filas de lámparas en 10 columnas. Con esta disposición se adapta a la configuración rectangular con una proporción de $8/5$, muy próxima a la configuración de $2:1$ de la nave.

La disposición que se elige para las 105 luminarias de las otras 2 naves, es la de 15 filas de lámparas en 7 columnas, muy próximo a la proporción de $2:1$ del espacio.

Así quedarían las luminarias sobre la implantación de la nave

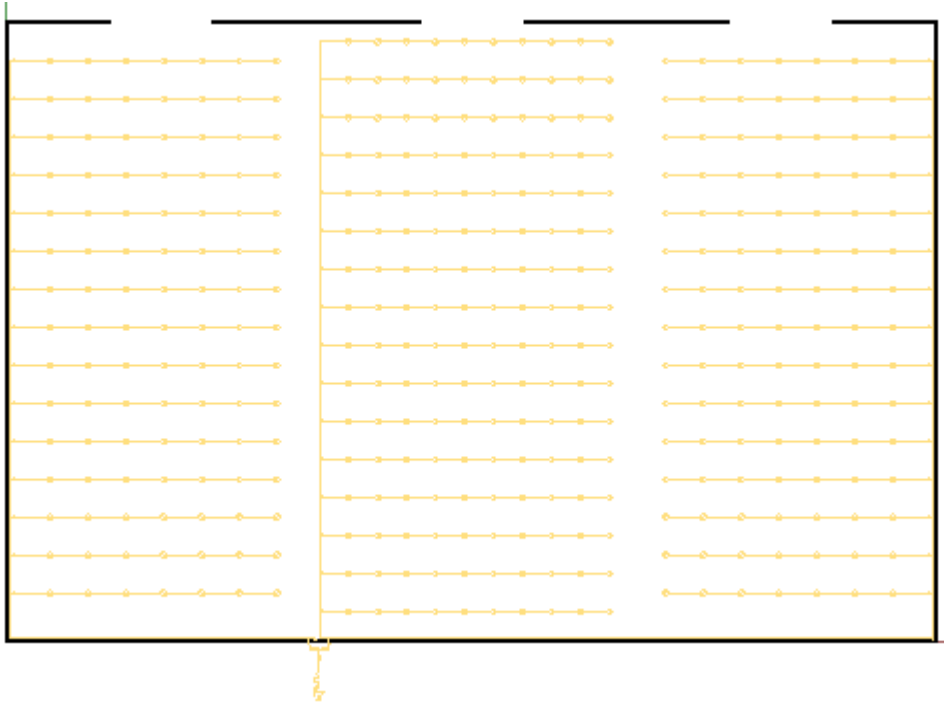


Tabla 16.- Lay Out de la iluminación

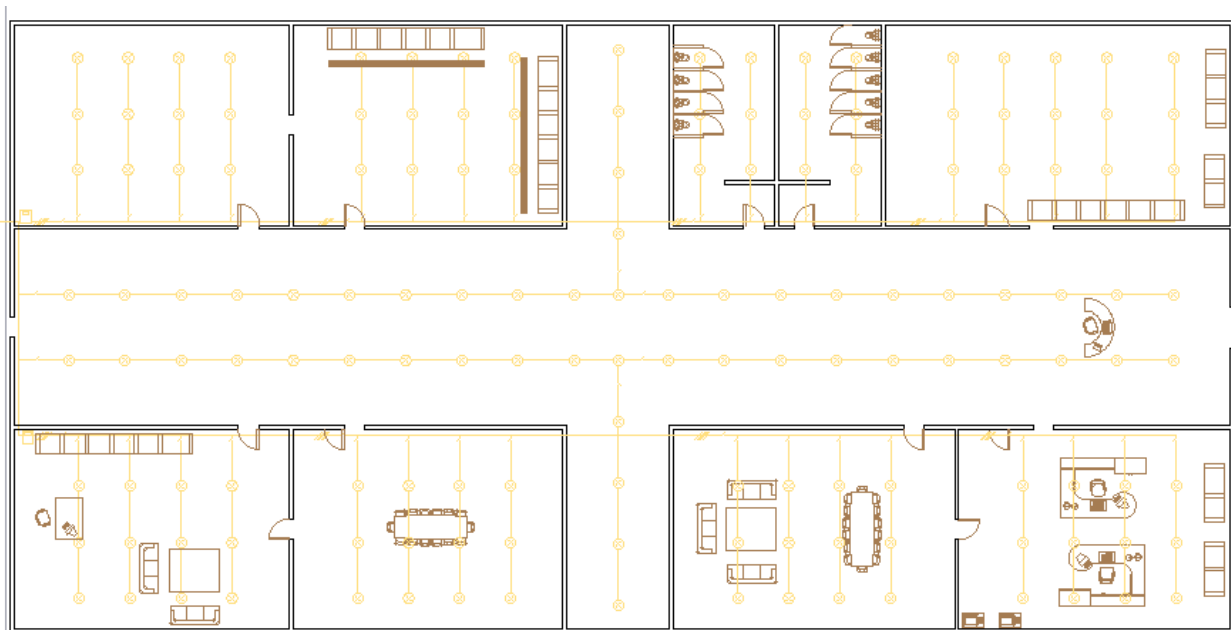


Tabla 17.- Lay Out de iluminación en la oficina

7.3. Ventilación y Climatización

7.3.1. Temperatura

La temperatura de confort necesaria es función del trabajo que se realice, por ello en la nave de proceso no se requerirán las mismas condiciones de temperatura que en la nave de almacenamiento, en la climatización hay que tener en cuenta la temperatura exterior no solo por razones técnicas sino también para evitar cambios bruscos de temperatura ya que esos cambios son muy perjudiciales para la salud, por ello las pérdidas térmicas no deben superar el 80% en invierno y 60% en verano.

La temperatura de confort óptima está entre 20,5 y 26 °C, en función de la estación en invierno la temperatura óptima es de 21°C y en verano es de 26°C.

7.3.2. Humedad

En paralelo con la temperatura y en estrecha asociación con ella debe considerarse la humedad como el segundo factor constitutivo del ambiente, y por tanto como consecuencia, del confort y del rendimiento del trabajador. Cuando un ambiente es demasiado húmedo o demasiado seco debilita o inhibe la actividad.

La humedad relativa influirá directamente en nuestra sensación térmica. Si tenemos una temperatura ambiente constante, pero varía la humedad relativa, nuestro cuerpo experimentará la sensación de que la temperatura ha cambiado. Es la denominada sensación térmica. Para tener en cuenta este factor se suele emplear la temperatura efectiva o equivalente que relacionan la “temperatura seca” con la “temperatura húmeda”.

La humedad tiene tres posibles orígenes:

- El contenido de agua en la atmosfera
- La producción de vapor por los ocupantes del local
- La producción de vapor de agua por los elementos industriales instalados o humedad técnica.

7.3.3. Ventilación

Durante las labores de trabajo, el aire se contamina ya sea por la temperatura, el polvo, olores, humedad, gases nocivos, sudor o incluso la respiración y por ello hay que renovar el aire con regularidad ya sea con ventilación natural o artificial.

La ventilación natural se obtiene modificando las temperatura o presiones entre los puntos característicos del local mediante el aprovechamiento de la diferencia de densidad entre el aire frío y el caliente para evacuar el aire caliente por la cubierta superior y se reemplaza por aire fresco que se

toma desde las zonas laterales inferiores.

La ventilación artificial o forzada se da por depresión, mediante aspiradores, de corriente ascendente, siguiendo el mismo principio de la ventilación natural por convección; por sobrepresión, incluyendo ventiladores en la parte inferior.

El sistema de ventilación impone el número de renovaciones por hora del volumen del local, en función del proceso industrial, de la cantidad de personas presentes en el local y los requisitos de confort impuestos por el proceso y el clima.

Para el caso de naves de montaje se necesita entre 4 y 10 renovaciones de aire por hora, 10-15 °C de temperatura y una humedad relativa del aire del local de entre el 55 y el 65%

La solución que se adopta es la de la implantación de aireadores dinámicos, aprovechando la diferencia de presiones y temperaturas entre el aire de las zonas altas y el de las zonas bajas se consigue una corriente convectiva que permite evacuar el aire, la salida es a través de chapa metálica plegada formando una tobera que permite que salga el aire sin retornar, también impide la entrada de lluvia, y se apoya de un ventilador para impulsar el aire. A su vez la renovación de aire implica un salto térmico de hasta 5°C

Existen diversos tipos de aireadores en función de la ventilación que proporcionan, los aireadores se subdividen en 2 grandes grupos estáticos, o dinámicos, la diferencia entre ellos es el uso o no de ventiladores para impulsar el aire.

Aireador dinámico, 50 VE de Arcelor Mittal.

El ventilador dinámico escogido está conformado por acero galvanizado:

- base de sujeción: diámetro de 820 mm, escuadras de sujeción, deflector anti lluvia.
- ventiladores: son helicoidales, con hélices de plástico (poliamida 6) reforzado con fibra de vidrio, marco soporte en chapa de acero, rejilla de protección contra contactos para satisfacer la norma UNE 100250
- Motor: son motores con una eficiencia IE3 y una potencia de 7,5 kW

Especificaciones Técnicas

Tipos	Velocidad (rpm)	Pot Cal Absa (kW)	Caudal (m3/h)	Peso (kg)	Nivel Sonoro (dB)
25 V	2800	0,19	1800	20	66
40 V	1400	0,37	5110	50	69
50 V	1400	0,7	9450	80	72
70 V	1400	1,5	18000	135	77

Tabla 18.- Especificaciones Técnicas de Aireadores Estáticos

Cada aireador consigue evacuar un caudal de 18000 (m³/h) la nave a evaluar posee unas dimensiones de 60x30x12 que equivalen a un volumen de 21600 m³, colocando 20 de estos aireadores conseguimos 8,3 renovaciones cada hora, superando las requeridas.



Ilustración 26.- Imagen de un aireador estático

Ventilación: 20 aireadores de 0,7 kW cada uno equivalen una potencia total de 140 kW

7.2. Electricidad

7.2.1. Cargas Eléctricas

Puente Grúa: con un consumo de un total de 172,5 kW de potencia máxima que demanda durante el arranque. El puente grúa deberá ser capaz de elevar verticalmente y desplazar horizontalmente toneladas de hasta 30 toneladas. Este consumo total viene subdividido por los siguientes componentes que consumen energía que son:

- Motor de elevación: 160 kW
- Motor de carro: 5 kW
- Motor de puente: 7,5 kW

Tomas de fuerza: cada toma de fuerza debe suministrar una potencia eléctrica de hasta 3,5 kW.

Luminarias: con un total de 380 luminarias de 95 W cada una necesitaremos un cómputo de 36,1 kW.

Carretillas: son máquinas que se desplazan por el suelo, de tracción motorizada, destinadas fundamentalmente a transportar, empujar, tirar o levantar cargas. Para cumplir esta función es necesaria una adecuación entre el aparejo de trabajo de la carretilla (implemento) y el tipo de carga. La carretilla elevadora es un aparato autónomo apto para llevar cargas en voladizo. Se asienta sobre dos ejes: motriz, el delantero y directriz, el trasero. Pueden ser eléctricas o con motor de combustión interna. Se tendrá en la nave de procesos 2 máquinas de 15 kW cada una, un total de 30 kW.

Plataforma Elevadora Articulada: estas grúas permiten elevar y desplazar a operarios para ejecutar o supervisar operaciones a ciertas alturas, existen dos grandes tipos de plataformas elevadoras: articuladas o de tijeras, las de tijeras solo permiten elevaciones verticales, mientras que las articuladas además permiten cierto desplazamiento horizontal. Además, pueden ser propulsadas mediante accionamiento eléctrico o mediante combustión diésel.

Bomba de Agua: para las instalaciones hidráulicas de protección contra incendios. La bomba no es más que una máquina generadora que transforma la energía electromecánica con la que es accionada en energía del fluido incompresible que mueve. Se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud. Cada bomba consume 2 kW.

Banco de pruebas 100 KW

7.2.2. Potencia Contratada

Para determinar la potencia se tiene en cuenta las prescripciones técnicas expuestas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (RBT) y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC–BT–10).

Los circuitos de alimentación de las lámparas estarán previstos para transportar la carga debida a los propios receptores, a sus elementos asociados y a sus corrientes armónicas y de arranque siendo la carga mínima prevista de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas. (ITC–BT–44).

Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor. Asimismo, los conductores de conexión que alimentan a varios motores deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma

del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás. (ITC–BT–47).

La carga correspondiente a los edificios destinados a oficinas se calculará considerando un mínimo de 100 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 3450 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1. (ITC–BT–10).

La carga correspondiente a los edificios industriales se calculará considerando un mínimo de 125 W por metro cuadrado y planta, con un mínimo por local de 10350 W a 230 V y coeficiente de simultaneidad 1. (ITC–BT–10).

7.4. Protección Contra Incendios

1. Establecimiento.

Se entiende por establecimiento el conjunto de edificios, edificio, zona de este, instalación o espacio abierto de uso industrial o almacén, según lo establecido en el artículo 2, destinado a ser utilizado bajo una titularidad diferenciada y cuyo proyecto de construcción o reforma, así como el inicio de la actividad prevista, sea objeto de control administrativo.

Los establecimientos industriales se caracterizarán por:

- a) Su configuración y ubicación con relación a su entorno.
- b) Su nivel de riesgo intrínseco.

2. Características de los establecimientos industriales por su configuración y ubicación con relación a su entorno.

Las muy diversas configuraciones y ubicaciones que pueden tener los establecimientos industriales se consideran reducidas a:

2.1 Establecimientos industriales ubicados en un edificio:

TIPO A: el establecimiento industrial ocupa parcialmente un edificio que tiene, además, otros establecimientos, ya sean estos de uso industrial ya de otros usos.

TIPO B: el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio que está adosado a otro u otros edificios, o a una distancia igual o inferior a tres metros de otro u otros edificios, de otro establecimiento, ya sean estos de uso industrial o bien de otros usos.

Para establecimientos industriales que ocupen una nave adosada con estructura compartida con las contiguas, que en todo caso deberán tener cubierta independiente, se admitirá el cumplimiento de las exigencias correspondientes al tipo B, siempre que se justifique técnicamente que el posible colapso de la estructura no afecte a las naves colindantes.

TIPO C: el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

2.2 Establecimientos industriales que desarrollan su actividad en espacios abiertos que no constituyen un edificio:

TIPO D: el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral.

TIPO E: el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de cuyas fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

3. Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco.

Los establecimientos industriales se clasifican, según su grado de riesgo intrínseco, atendiendo a los criterios simplificados y según los procedimientos que se indican a continuación.

3.1 Los establecimientos industriales, en general, estarán constituidos por una o varias configuraciones de los tipos A, B, C, D y E. Cada una de estas configuraciones constituirá una o varias zonas (sectores o áreas de incendio) del establecimiento industrial.

1. Para los tipos A, B y C se considera «sector de incendio» el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso.

2. Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un «área de incendio» abierta, definida solamente por su perímetro.

3.2 El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio se evaluará:

1. Calculando la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio:

$$Q_s = \frac{\sum_i G_i q_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

donde:

Q_s = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

G_i = masa, en kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles).

q_i = poder calorífico, en MJ/kg o Mcal/kg, de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

C_i = coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.

R_a = coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.

Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomará como factor de riesgo de activación el inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe al menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A = superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².

Los valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad, C_i , de cada combustible pueden deducirse de la tabla 1.1, del Catálogo CEA de productos y mercancías, o de tablas similares de reconocido prestigio cuyo uso debe justificarse.

Los valores del coeficiente de peligrosidad por activación, R_a , pueden deducirse de la tabla 1.2.

Los valores del poder calorífico q_i , de cada combustible, pueden deducirse de la tabla

2. Como alternativa a la fórmula anterior se puede evaluar la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, Q_s , del sector de incendio aplicando las siguientes expresiones.

a) Para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

q_{si} = densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m² o Mcal/m².

S_i = superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente, en m².

S_i = superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente, en m².

b) Para actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} C_i h_i S_i}{A} R_a \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

3. El nivel de riesgo intrínseco de un edificio o un conjunto de sectores y/o áreas de incendio de un establecimiento industrial, a los efectos de la aplicación de este reglamento, se evaluará calculando la siguiente expresión, que determina la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, Q_e , de dicho edificio industrial.

$$Q_e = \frac{\sum_1^i Q_{si} A_i}{\sum_1^i A_i} \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

Q_e = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

Q_{si} = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

A_i = superficie construida de cada uno de los sectores o áreas de incendio, (i), que componen el edificio industrial, en m².

3.4 A los efectos de este reglamento, el nivel de riesgo intrínseco de un establecimiento industrial, cuando desarrolla su actividad en más de un edificio, ubicados en un mismo recinto, se evaluará calculando la siguiente expresión, que determina la carga de fuego, ponderada y corregida, Q_E , de dicho establecimiento industrial:

$$Q_E = \frac{\sum_1^i Q_{ei} A_{ei}}{\sum_1^i A_{ei}} \text{ (MJ / m}^2\text{) o (Mcal / m}^2\text{)}$$

donde:

Q_E = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del establecimiento industrial, en MJ/m² o Mcal/m².

Q_{ei} = densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de cada uno de los edificios industriales, (i), que componen el establecimiento industrial en MJ/m² o Mcal/m².

A_{ei} = superficie construida de cada uno de los edificios industriales, (i), que componen el establecimiento industrial, en m².

3.5 Evaluada la densidad de carga de fuego ponderada, y corregida de un sector o área de incendio, (Q_s), de un edificio industrial (Q_e) o de un establecimiento industrial (Q_E), según cualquiera de los procedimientos expuestos en los apartados 3.2, 3.3 y 3.4, respectivamente, el nivel de riesgo intrínseco del sector o área de incendio, del edificio industrial, o del establecimiento industrial, se deduce de la tabla 1.3.

3.6 Para la evaluación del riesgo intrínseco se puede recurrir igualmente al uso de métodos de evaluación de reconocido prestigio; en tal caso, deberá justificarse en el proyecto el método empleado.

TABLA 1.2

Valores de densidad de carga de fuego media de diversos procesos industriales, de almacenamiento de productos y riesgo de activación asociado, Ra

Actividad	Fabricación y venta		
	Q_s		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²	
Motores eléctricos	300	72	1

Tabla 19.- Densidad de carga de fuego media

Nivel de riesgo intrínseco	Densidad de carga de fuego ponderada y corregida		
		Mcal/m ²	MJ/m ²
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1.275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1.275 < Q_s \leq 1.700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1.700 < Q_s \leq 3.400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1.600$	$3.400 < Q_s \leq 6.800$
	7	$1.600 < Q_s \leq 3.200$	$6.800 < Q_s \leq 13.600$
	8	$3.200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 20.- Nivel de Riesgo Intrínseco

Nivel de riesgo intrínseco: Bajo

Sección SI 4 Instalaciones de protección contra incendios 1 Dotación de instalaciones de protección contra incendios 1 Los edificios deben disponer de los equipos e instalaciones de protección contra incendios que se

indican en la tabla 1.1. El diseño, la ejecución, la puesta en funcionamiento y el mantenimiento de dichas instalaciones, así como sus materiales, componentes y equipos, deben cumplir lo establecido en el “Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios”, en sus disposiciones complementarias y en cualquier otra reglamentación específica que le sea de aplicación. La puesta en funcionamiento de las instalaciones requiere la presentación, ante el órgano competente de la Comunidad Autónoma, del certificado de la empresa instaladora al que se refiere el artículo 18 del citado reglamento. Los locales de riesgo especial, así como aquellas zonas cuyo uso previsto sea diferente y subsidiario del principal del edificio o del establecimiento en el que estén integradas y que, conforme a la tabla 1.1 del Capítulo 1 de la Sección 1 de este DB, deban constituir un sector de incendio diferente, deben disponer de la dotación de instalaciones que se indica para cada local de riesgo especial, así como para cada zona, en función de su uso previsto, pero en ningún caso será inferior a la exigida con carácter general para el uso principal del edificio o del establecimiento.

3. Sistemas automáticos de detección de incendio.

3.1 Se instalarán sistemas automáticos de detección de incendios en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento si:

1.º Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 300 m² o superior.

b) Actividades de almacenamiento si:

1.º Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 150 m² o superior.

4. Sistemas manuales de alarma de incendio.

4.1 Se instalarán sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio de los establecimientos industriales cuando en ellos se desarrollen:

a) Actividades de producción, montaje, transformación, reparación u otras distintas al almacenamiento, si:

1.º Su superficie total construida es de 1.000 m² o superior, o

2.º No se requiere la instalación de sistemas automáticos de detección de incendios, según el apartado 3.1 de este anexo.

b) Actividades de almacenamiento, si:

1.º Su superficie total construida es de 800 m² o superior, o

5. Sistemas de comunicación de alarma.

5.1 Se instalarán sistemas de comunicación de alarma en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales, si la suma de la superficie construida de todos los sectores de incendio del establecimiento industrial es de 10.000 m² o superior.

No hace falta

8. Extintores de incendio.

8.1 Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales.

9.1 Se instalarán sistemas de bocas de incendio equipadas en los sectores de incendio de los establecimientos industriales si:

- a) Están ubicados en edificios de tipo A y su superficie total construida es de 300 m² o superior.

9.2 Tipo de BIE y necesidades de agua.

Además de los requisitos establecidos en el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios, para su disposición y características se cumplirán las siguientes condiciones hidráulicas:

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO DEL ESTABLECIMIENTO INDUSTRIAL	TIPO DE BIE	SIMULTANEIDAD	TIEMPO DE AUTONOMÍA
BAJO	DN 25 mm	2	60 min

Tabla 21.- Simultaneidad

El caudal unitario será el correspondiente a aplicar a la presión dinámica disponible en la entrada de la BIE, cuando funcionen simultáneamente el número de BIE indicado, el factor «K» del conjunto, proporcionado por el fabricante del equipo. Los diámetros equivalentes mínimos serán 10 mm para BIE de 25 y 13 mm para las BIE de 45 mm.

Se deberá comprobar que la presión en la boquilla no sea inferior a dos bar ni superior a cinco bar, y, si fuera necesario, se dispondrán dispositivos reductores de presión.

Alarmas, BIES y Extintores separados a una distancia de 15 m cada uno

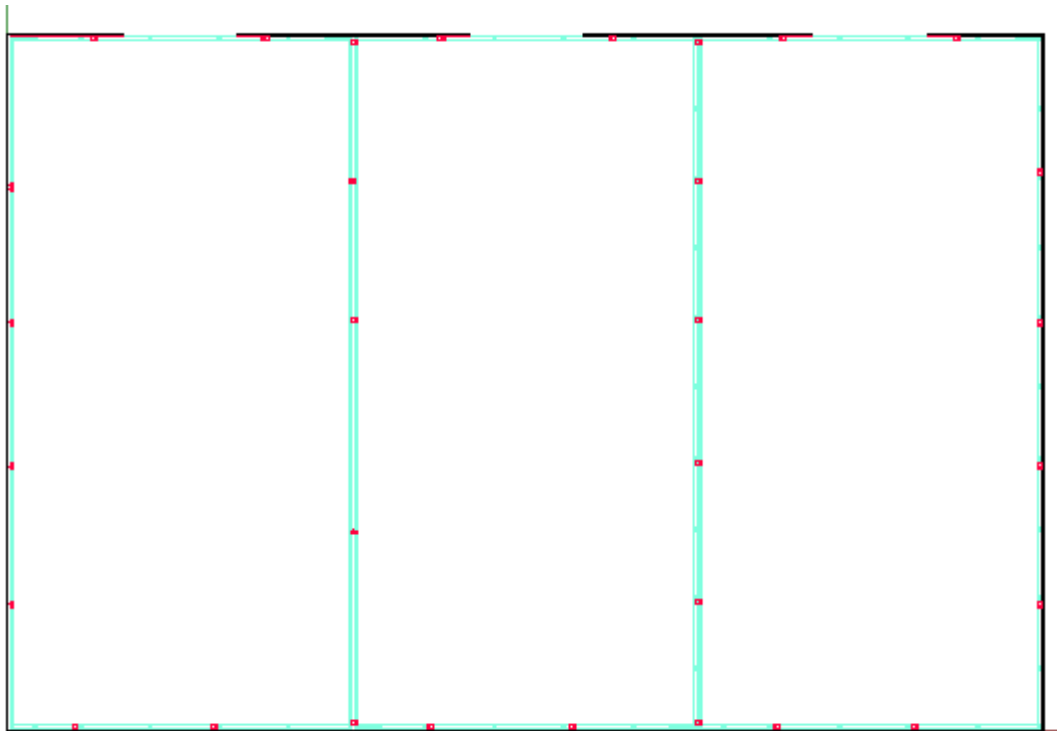


Tabla 22.- Disposición de equipos de protección de incendios

7.5. Cerramientos

En cuanto a la junta lateral, viene a ser la fachada y la cubierta, ahondaremos en los diferentes enfoques y perspectivas sobre ellas que conciernen a la junta lateral, tal como la apariencia que otorga el acabado superficial, si cumple las condiciones de protección frente a la humedad, el ruido, la lluvia, el viento; la ventilación e iluminación que permite y la seguridad que impone. Donde es más relevante la parte ilustrativa y gráfica que técnica. De cualquier modo incluiré una sección económica-financiera para poder evaluar las diferentes propuestas desde este aspecto y escoger así la mejor opción.

7.5.1. Fachadas

Las fachadas se pueden agrupar en 3 grandes bloques: metálicas, fábrica y hormigón armado.

Hormigón armado

El hormigón es el material más empleado en la construcción debido a sus características que en su conjunto lo hacen idóneo para nuestras naves, y almacén.

Para tener una mejor iluminación natural había pensado en colocar una lámina de policarbonato translúcido en el último nivel de la facha es decir por encima de los paneles más altos, apoyado sobre una cercha Warren, ahorrando costes de suministro eléctrico, estos paneles de policarbonato pueden ser corridos para así tener si se quisiera una mayor ventilación natural.

Ventajas
Económicos
Prefabricado o in situ
Rápida ejecución
Estanqueidad
Variedad

Un precio asequible le hace la opción perfecta para fachadas extensas.

La mejor opción para nuestro proyecto es elegir el hormigón prefabricado ya que debido a las grandes cantidades a utilizar de hormigón el uso de paneles es la mejor elección para ahorrar tiempo de ejecución y por tanto costes de ejecución.

Los paneles de hormigón prefabricados a emplear, posteriormente descrito, proporcionan estanqueidad frente al agua de lluvia y una barrera de vapor, así como una capa de polietileno expandido como aislante, y una cámara de vacío que permite recircular el aire interior y otorgar así cierta ventilación.

Aunque el gris hormigón no es famoso por su estética, cierto es que muchos encuentran belleza natural al concreto, si se pueden encargar ciertos acabados con formas o texturas para amenizar la fachada y evitar cierta monotonía.

7.5.1.1. Características

- a) Resistencia Mecánica y estabilidad
 - i) Resistencia Mecánica y estabilidad frente a agentes estáticos

Las prestaciones resistentes de cada uno de los elementos de hormigón armado se pueden calcular de acuerdo con los métodos de cálculo establecidos por la EHE. Así como los paneles portantes cumplen los requisitos mecánicos derivados de las acciones estáticas para edificios de tipo residencial que contempla la norma NBE AE-88.

- ii) Resistencia mecánica y estabilidad frente a esfuerzos horizontales y dinámicos.

En los referente a las prestaciones frente a sismos, se cumplen los requisitos de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02. De acuerdo con esta norma, se establecen entre otros los siguientes criterios:

- Si la Aceleración sísmica básica es menor de 0,04g no es obligatoria la aplicación de la norma NCSE-02
- b) Seguridad en caso de incendio:

Reacción al fuego, el hormigón es según la NBE CPI-96 material no combustible es decir de clase A1.

Resistencia al fuego, RF 120 mínimo garantizado

- c) Higiene, salud y medio ambiente

Impermeabilidad ante la lluvia. Es necesario una capa de 2mm de pintura gruesa y elástica. Las condensaciones posibles no son lo suficientemente importantes como para afectar a la durabilidad de los cerramientos ya que los ciclos térmicos día-noche son suficientes para permitir el secado de las cantidades de condensación que se producen.

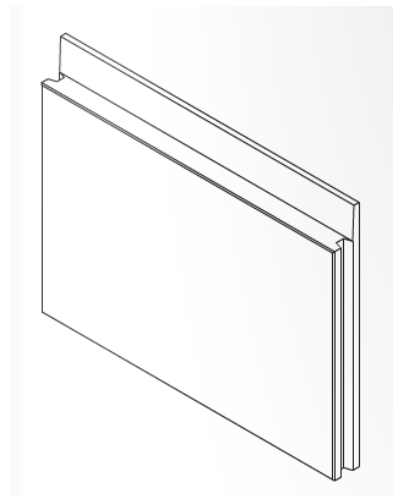
- d) Protección contra el ruido.

Cumplen directamente con la NBE CA-88, frente al ruido aéreo.

- e) Ahorro de energía y aislamiento térmico.

Coefficiente de transmisión térmica K ($W/m^2 \cdot K$)=0.65. El aislamiento térmico de los cerramientos de fachada es suficiente para garantizar los valores exigidos por la reglamentación, NBE CT-79.

Se podrían producir puentes térmicos en el perímetro de los paneles de fachada por razón de que el aislamiento térmico interno a los paneles no llega hasta su perímetro quedan resueltos gracias a la incorporación de trasdosado del cerramiento de un tabique que incorpora una capa aislante térmica. La posible falta de homogeneidad de las temperaturas sobre la cara interior del cerramiento, debida a la diferencia del espesor de aislamiento en los tramos centrales de los elementos de fachada y en los tramos perimetrales de cada panel no es relevante ya que existe difusión de calor en la dirección de los paneles de fachada, entre los tramos centrales de los paneles hacia los puentes térmicos.



7.5.1.2. Dimensiones

El hormigón empleado para la placa alveolar es HA-30

Posee un espesor de 25 cm

En el trasdós tiene una capa de polietileno expandido de 9 cm que otorga las propiedades aislantes e impermeabilizantes.

Se consiguen alturas de hasta 3.5 como máximo

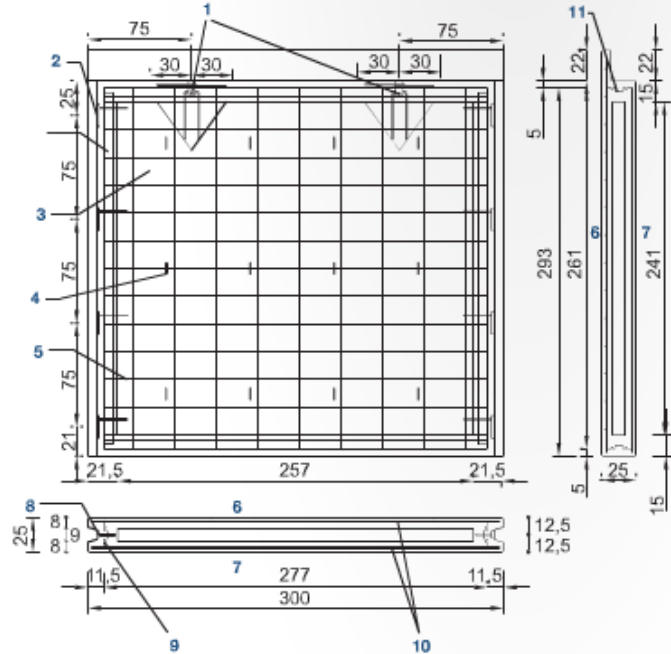
Longitudes de hasta 7.5 m

7.5.1.3. Armadura

Algunos de los elemento esenciales de la armadura que posee el panel son:

- Armadura perimetral montada sobre un perfil metálico en U (un redondo a cada lado del perfil). Esta armadura ocupa todo el perímetro del panel y el de las aberturas, si las hay; en paneles de longitud considerable, forma nervios rigidizadores verticales centrales en el panel.
- Mallazo colocados sobre sobre cada una de las caras de los perfiles eco que permanecen unidos por ganchos de acero inoxidable que se clavan en el hormigón, con 4 ganchos por m². Esta superposición del mallazo con el perfil ocupa los 20 cm centrales del espesor total del panel de 25 cm, es decir el recubrimiento nominal de las armaduras son de 2.5 cm

- Este armado se puede completar con armaduras transversales soldadas al perfil perimetral por ejemplo en los vértices del panel ya que son más sensibles.
- Elementos metálicos con funciones de elevación y manipulación de los paneles, generalmente 2 anclajes de elevación por panel.
- Anclajes Pfeifer, normalmente 4, en la cara vertical y superior, su función es de actuar como unión con los paneles contiguos enlazándose con los anclajes complementarios del panel colindante, y como estribos de las armaduras verticales de la junta entre paneles.
- Anclajes de posicionamiento llamados casquillos, son bulones para manipular, nivelar, mantener y posicionar los paneles durante el montaje.
- Cajas de nivelación de acero de 15x20x18 cm en la cara interior para ajustar la cara superior de los paneles para colocar sobre ella los forjados.



- | | |
|---|---|
| 1. Tubo anclaje 2.5 T | 6. Cara fina |
| 2. 4 anclajes Pfeifer Vs-box | 7. Cara rugosa |
| 3. EPS de 9 cm de espesor con 3 cm de espacio hasta el perfil Eco, excepto en los nervios centrales, donde el EPS se atesta al perfil Eco | 8. 4 anclajes Pfeifer Vs-box |
| 4. Ganchos tipo forcelle Eco Forc 25 L-200 | 9. Armadura realizada con perfil Eco |
| 5. Un mallazo sobre cada cara del panel | 10. Un mallazo sobre cada cara del perfil Eco |
| | 11. Armadura realizada con perfil Eco |

7.5.1.4. Ejecución

- 1) Colocación de los paneles verticales
- 2) Se atornillan los bulones de colocación de los paneles verticales a las riostras, hasta que entran totalmente en el orificio. El orden de ejecución de los cerramientos verticales es el siguiente: se colocan los dos paneles incidentes en una esquina de la obra, sujetos por una escuadra inferior y por puntales diagonales, se incorpora la pieza de esquina entre los dos paneles y se unen los tres elementos con una escuadra superior; se continúa la construcción por una esquina de la ala, hasta llegar a la siguiente esquina. Es conveniente arriostrar cada panel con otro que incide perpendicularmente. La colocación de cada panel se hace en fase de montaje gracias a las cajas de nivelación, que tienen la función de nivelar el panel y de contribuir a sujetarlo. En algunos casos se deben enderezar los bulones para que tengan la dirección correcta y poder entrar en el elemento superior. Una vez colocados todos los paneles verticales de la planta es el momento de aplomarlos y nivelarlos para colocar sobre ellos forjados, gracias a puntales diagonales regulables y de las cajas de nivelación.
- 3) Ejecución de las armaduras horizontales y verticales
- 4) Las juntas verticales entre paneles se ejecutan de la siguiente forma: se pasan las armaduras verticales a través de los anclajes Pfeifer de los paneles y de las piezas de esquina, y a través de los estribos triangulares en el caso de las uniones en T de 3 paneles y se coloca un encofrado para que una vez colocadas las armaduras se vierte el hormigón con un cubilote, y donde el encofrado se coloca una masilla que sirve para aportar elasticidad y estanqueidad para el paramento exterior.
- 5) La junta horizontal que queda entre los paneles, así como la caja de nivelación se retacan con un mortero de baja refracción
- 6) Las tolerancias finales son de ± 8 mm

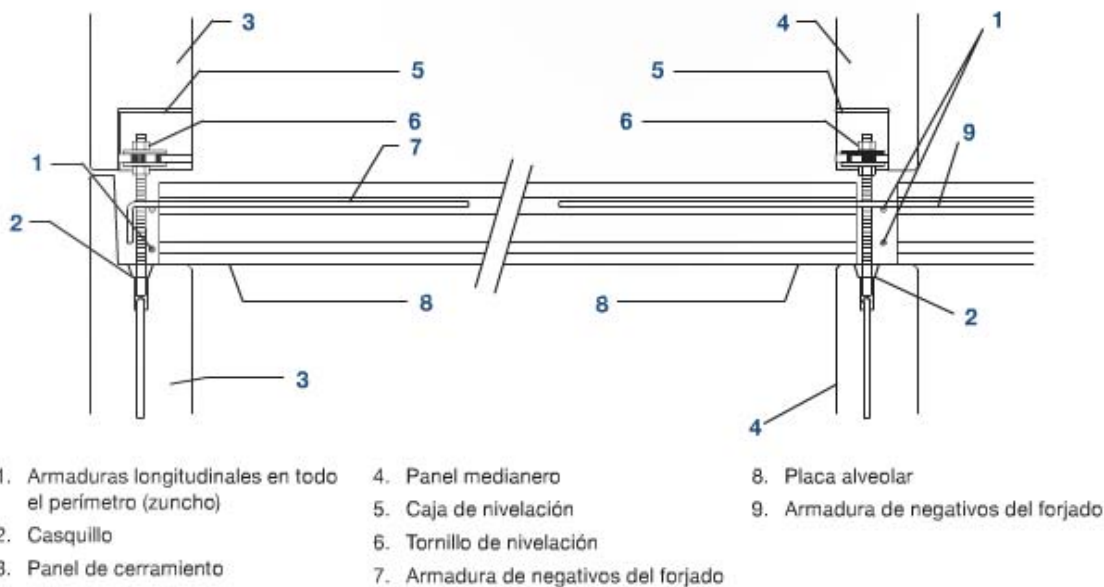


Figura 11: Detalle del encuentro del forjado con los paneles verticales (dimensionado del armado no genérico).

Maquinaria y herramientas necesarias

- Grúa
- Pinza
- Perforadora rotativa
- Soporte
- Puntales
- Escuadras

Si hace falta cubrir una superficie total de 2832 m2 a 70€/m2 será necesario una inversión de 198240 €, para poder instalar las fachadas.

Concepto	Unidad	Precio Unitario €	Precio partida €
panel prefabricado, liso, de hormigón armado de 25 cm de espesor, 3m de ancho y 14 m de longitud máxima, acabado liso de color blanco	m2	46.56	46.56
masilla caucho asfáltica para sellado de juntas	kg	1.96	1.96
tablón de madera de pino	m3	305	0.61
puntal metálico telescópico hasta 3m	ud	13.37	0.53
grúa autopropulsada	h	66.84	9.69
oficial 1º	h	17.82	3.78
ayudante	h	16.13	3.42
Medios auxiliares	%	66.55	1.33
Costes Indirectos	%	67.88	2.04
Mantenimiento decenal		4.89	
Total			69.92

7.5.2. Cubierta

La función principal de la cubierta es proteger el interior frente a agentes externos como la lluvia, el viento y la nieve, por lo que deberá poseer características intrínsecas como la impermeabilidad, la estanqueidad, y el aislamiento térmico. Además, deberá ofrecer seguridad, y si es posible ventilación o iluminación natural.

Análisis de diferentes propuestas en función de sus propiedades como cerramiento y su precio.

7.5.2.1. Cubierta simple de chapa

Consiste en una chapa de acero que está fijado a las correas a través de tornillería. Tiene pendiente para permitir la evacuación de aguas.

Características

Evacuación de aguas

Impermeable

Protege frente al viento

Mal aislante térmico

m ²	Chapa de acero prelacado, espesor 0,6 mm.	5,39	5,93
Ud	Tornillo autorroscante de 6,5x70 mm de acero inoxidable, con arandela.	0,50	1,50
h	Oficial 1ª montador de cerramientos industriales.	17,82	2,69
h	Ayudante montador de cerramientos industriales.	16,13	2,44
%	Medios auxiliares	12,56	0,25
%	Costes indirectos	12,81	0,38
		Total:	13,19

Esta es la opción más económica pero también la menos completa, e incluso puede salir más cara que el resto en términos de pérdida de energía calorífica o frigorífica. Esta opción es descartada.

7.5.2.2. Doble chapa y aislante

Esta opción está compuesta de

- a) Doble chapa, prelacada
- b) Chapa exterior 0,5mm
- c) Chapa interior 0,5mm
- d) Aislamiento térmico
 - a. Poliuretano de densidad media 40 kg/m³
- e) Espesor 30-100mm

Características:

Aislamiento Térmico

Evacuación de Aguas
 Impermeabilidad
 Estanqueidad frente al vapor
 Protección frente al ruido
 Protección frente al viento

Ud	Descomposición	Precio unitario	Precio partida
m²	Panel de acero con aislamiento incorporado	20,68	21,71
Ud	Tornillo autorroscante de 6,5x70 mm de acero inoxidable, con arandela.	0,50	1,50
h	Oficial 1ª montador de cerramientos industriales.	17,82	1,44
h	Ayudante montador de cerramientos industriales.	16,13	1,31
%	Medios auxiliares	25,96	0,52
%	Costes indirectos	26,48	0,79
		Total:	27,27

Esta me parece la opción perfecta para cubrir nuestras naves, ya que cumple los requisitos imprescindibles de cualquier cubierta y a un precio nada desorbitado.

8. PRESUPUESTO

Los presupuestos están basados en diferentes fuentes, algunas como el COIIAOC en su base de precios, también el COAS, el generador de precios de CYPE y para cosas más específicas, como el puente grúa, se pidió presupuesto a proveedores, en este caso a ESTINDEL, y algunas secundarias a través de internet.

Espacio	€/m2	m2 o ud	€
Nave Industrial	491	5400	2651400
Oficinas	673	1800	1211400
Playa de Camiones	101	5000	505000
Total			4367800

Tabla 23.- Presupuesto de obra

% Instalaciones	€/m2	m2 o ud	€
Climatización	48	5400	259200
Climatización Oficinas	130	1800	234000
Electrificación	59	5400	318600
Electrificación Ofi	55	1800	99000
Saneamiento y Evacuación de Aguas	21	7200	151200
Abastecimiento	24	7200	172800
Total			1234800

Tabla 24.- Presupuesto de Instalaciones

Maquinaria y Herramientas	€/m2	m2 o ud	€
Puente Grúa	45000	1	45000
Racks	148	180	26640
Andamio	500	3	1500
Carretilla	20000	3	60000
Máquina de Pruebas	50000	1	50000
Otras Herramientas y Equipos	2000	10	20000
Total			203340

Tabla 25.- Presupuesto de maquinaria y herramientas

TOTAL: 4570940 €

REFERENCIAS

- [1] Autor, «Este es el ejemplo de una cita,» *Tesis Doctoral*, vol. 2, nº 13, 2012.
- [2] J. Roldán Vilorio , Motores eléctricos : accionamiento de máquinas : 30 tipos de motores, 2005
- [3] Robert W. Smeaton, Motores eléctricos: selección, mantenimiento y reparación, McGraw-Hill, 1991
- [3] textoscientificos.com/energia/turbinas
- [4] Gilberto Enríquez Harper, El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos, Limusa, 2000
- [5] uclm.es
- [6] “Eólica 2010: Anuario del sector y análisis de datos”, publicado por la AEE
- [7] mityc.es/energia/es-ES
- [8] F. T. Bartho, Motores eléctricos industriales y dispositivos de control
- [9] GWEC, Global Wind Energy Council gwec.net
- [10] G.J.W. van Bussel, PhD; M.B. Zaaijer, MSc Reliability, Availability and Maintenance aspects of large-scale offshore wind farms page 2 Delft University of Technology, 2001.
- [11] Varios Autores, “Wind Energy, The Facts”, publicado por la EWEA
- [12] Asociación Danesa de la Energía windpower.org
- [13] John O. Dabiri, Potential order of magnitude enhancement of wind farm power density via counter rotating vertical axis wind turbine arrays.
- [14] J. A. González, UCLM. curso de Acústica del Master en Prevención de Riesgos Laborales
- [15] Eize de Vries, Aerodyn's 6MW offshore turbine design
- [16] J. A. De Toro , Física Ambiental Aplicada
- [17] Eurostat: eurostat.ec.europa.eu
- [18] Conrad H McGregor, Electricity around the world, 2010
- [19] Brief power quality tutorial for engineers, PSL, 2010
- [20] Red Eléctrica Española: ree.es
- [21] Plan de Energías Renovables 2005-2010
- [22] International Energy Agency, "2008 Energy Balance for World", 2011.
- [23] David Spera, Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts in Wind Turbine Engineering, 2º edición, 2009
- [24] Wind Powering America windpoweringamerica.gov
- [25] acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/
- [26] Robert Gasch, Jochen Tvele (ed.), Wind power plants. Fundamentals, design, construction and operation, Springer 2012
- [27] gwec.net/global-figures/graphs/

- [28] gamesacorp.com/es/productos-servicios/aerogeneradores/disen-y-fabricacion/proceso-fabricacion-montaje.html
- [29] Erich Hau, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics, Springer, 2013
- [30] youtube video: Vestas challenges scaling rules with multi-rotor concept demonstration turbine
- [31] [youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=e6_k8-0XdzE](https://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=e6_k8-0XdzE)
- [32] youtube video 2 MW platform - making wind work harder
- [33] endurancewindpower.com/wind-knowledge/how-to-build-a-wind-turbine/
- [34] Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Fachadas, cerramientos de edificios, 2012
- [35] Ana Sánchez-Ostiz Gutiérrez, Cubiertas, cerramientos de edificios, 2012
- [36] constructalia.com/espanol/productos/cubiertas/ventilacion/ventilacion_estaticadinamica
- [37] Timothy J. Brennan, Karen L. Palmer, Salvador A. Martinez: Alternating Currents. Electricity Markets and Public Policy,
- [38] Antonio Jesús González Bautista, Manipulación de cargas con puentes grúa y polipastos, 2012.
- [39] atosdin.es/ventilacion-en-cubierta-sandwich/
- [40] lighting.philips.es/prof/luminarias-de-interior/luminarias-de-gran-altura-y-baja-altura/luminarias-de-gran-altura/gentlespace-gen2/
- [41] energy.siemens.com/co/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/SWT_3.6.107.sp.pdf
- [42] [youtube.com/watch?v=LNXTm7aHvWc](https://www.youtube.com/watch?v=LNXTm7aHvWc)
- [43] Pérez-Bella, J. M., Domínguez-Hernández, J., Rodríguez-Soria, B., del Coz-Díaz, J. J., Cano-Suñén, E. (2015). Revisión y mejora de la caracterización del grado de impermeabilidad requerido por el CTE DB-HS1 para fachadas de edificación. Informes de la Construcción
- [44] Broto, C. (2006). Enciclopedia Broto de las patologías de la construcción
- [45] Nonnast, R. (1.990), "El proyectista de estructuras metálicas". Editorial Paraninfo.
- [46] CTE, Ministerio de Fomento
- [47] EAE, Instrucción de Acero Estructural, Ministerio de Fomento, 3º Ed. 2012
- [48] Instalaciones. 1a. parte : diseño, cálculo, construcción, valoración, control, mantenimiento. Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones
- [49] Instalaciones. 2a. parte: diseño, cálculo, construcción, valoración, control, mantenimiento. Ministerio de Fomento, Centro de Publicaciones.
- [50] generadordeprecios.info
- [51] Estructuras : diseño, cálculo, construcción, valoración, control, mantenimiento, Ministerio de Fomento
- [52] Andrés Aznar CarrascoP ,rotección contra incendios : análisis y diseño de sistemas
- [53] COAS, Método para el cálculo simplificado de los presupuestos estimativos de ejecución material de los distintos tipos de obras.
- [54] J. Calavera, Proyecto y Cálculo de Estructuras, Tomo I y II, 2º Edición, 2002.

ÍNDICE DE CONCEPTOS

HAWTs: horizontal axis wind turbines, son turbinas de eje horizontal, las más comunes en la industria de la energía eólica, son las más óptimas para aprovechar los vientos de alta velocidad.

FIT: feed-in-tariff; contrato estándar de oferta, tarifas avanzada para renovables etc. Es una política diseñada para acelerar la inversión en energías renovables, ofreciendo contratos a largo plazo a productores de energía renovable, basados en el costo de la generación de cada tecnología. En lugar de pagar la misma cantidad a renovables o a tradicionales, energía eólica y fotovoltaica reciben precios subvencionados o reducciones fiscales.

PTC/ITC: Production Tax Credit/Investment Tax Credit: son créditos tributarios a la energía eólica y bioenergética. El propósito del crédito tributario de producción es fomentar las energías renovables basada en los beneficios medioambientales, económicos y de seguridad energética que pueden proporcionar los recursos energéticos renovables. Además de la energía eólica el PTC cubre también la biomasa de bucle cerrado, la energía geotérmica y la mitad de la tasa de biomasa de bucle abierto, la hidroeléctrica, gas vertedero y residuos sólidos urbanos. El PTC proporciona un beneficio de 2,2 centavos por kilovatio hora durante los 10 primeros años de funcionamiento de una instalación de energías renovables.

SLP: Standard Lay Out Procedure: sistema estándar de proceso de diseño de lay out, en función de las relaciones entre actividades, la ponderación de las actividades implicadas en el proceso.

EPI: Equipo de Protección Individual

CTE: Código Técnico de la Edificación.

GLOSARIO

ISO: International Organization for Standardization	4
UNE: Una Norma Española	4
CTE: Código Técnico de Edificación	123