

INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE SISTEMAS SOLARES ACTIVOS Y PASIVOS EN EDIFICIOS INDUSTRIALES. CASO ESTUDIO CUENCA - ECUADOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA - FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO - ABRIL 2018

AUTOR: DIEGO SEBASTIAN MARIN LÓPEZ C.I. 0105742712

DIRECTOR: ARQ. PHD. ESTEBAN FELIPE ZALAMEA LEÓN C.I. 0102125952



UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO.

Integración arquitectónica de sistemas solares activos y pasivos en edificios industriales.
Caso estudio Cuenca-Ecuador

Trabajo previo a la obtención del título de Arquitecto.

DIRECTOR:

Arq. PhD. Esteban Felipe Zalamea León
C.I. 0102125952

AUTOR:

Diego Sebastián Marín López
C.I. 0105742712

Abril 2018



RESUMEN

El consumo energético industrial en Ecuador demanda principalmente, Diesel (38%) y electricidad (31%). El 58% de la electricidad proviene de fuentes hídricas y el restante desde termoeléctricas que también combustionan. Ante ello, continúa el desarrollo hidroeléctrico, y este a pesar de suponerse una fuente limpia, presenta impactos relativos a la naturaleza. La autoproducción de energía in situ desde fuentes renovables; es una alternativa para continuar la expansión energética del país. Una fuente promisoriosa, limpia, renovable y de potencial gigantesco en nuestro país, es el sol, por su estratégica ubicación geográfica. El trabajo propuesto busca determinar la factibilidad de integración de captadores solares activos y estrategias pasivas de diseño en edificios industriales de Graiman, en Cuenca-Ecuador, uno de los de mayor demanda energética en la ciudad, promoviendo la reducción de consumo, así como confort físico. Para ello se analizan las tecnologías solares existentes (factibles para integrarse arquitectónicamente) y estrategias pasivas para edificios industriales. Se analiza el estado actual de los edificios, emplazamiento y demandas energéticas. A partir de este

análisis se realiza una propuesta de envolvente que sería aplicable para la mayoría de los edificios del complejo industrial y se estima la producción de energía eléctrica fotovoltaica total que podría haberse alcanzado con la irradiación medida durante el 2016. Los resultados obtenidos muestran que se puede suplir el 22% de la demanda de electricidad de la industria, reduciendo al año casi 3 toneladas de CO₂ y ahorrar \$712.131,23 por costos de electricidad al año, entregándose una metodología para aplicarse en un proceso de diseño arquitectónico que se considere energías renovables.

Palabras claves: energía solar; integración de colectores solares; estrategias bioclimáticas; edificios industriales; simulación energética; energía fotovoltaica.



ABSTRACT

The industrial energy consumption in Ecuador mainly demands Diesel (38%) and electricity (31%). 58% of electricity comes from water sources and the rest from thermoelectric plants that also combust. In view of this, the hydroelectric development continues and, despite being assumed to be a clean source, it represents relative impacts against the nature. The energy self-production in situ from renewable sources is an alternative for continuing with the energy expansion of the country. A promising, clean, renewable and of gigantic potential source in our country is the sun, due to its strategic geographical location. The proposed work has the aim of determining the feasibility of integration of active solar collectors and passive design strategies in industrial buildings of Graiman, in Cuenca-Ecuador; one of the most energy-demanding building in the city, promoting the reduction of consumption, as well as physical comfort. To do this, the existing solar technologies (feasible to integrate architecturally) and passive strategies for industrial buildings. The current state of buildings, location and energy demands is analyzed. From this analysis, it is developed an envelope proposal made that

would be applicable for most of the buildings of the industrial venue and the total photovoltaic energy production that could have been achieved with the irradiation measured during 2016 is estimated. The obtained results show that it can be supplied the 22% of the electricity demand of the industry, reducing almost 3 tons of CO₂ per year and saving \$ 712,131.23 per year in electricity costs, providing a methodology to be applied in an architectural design process that is considered as renewable energy.

Keywords: solar energy; integration of solar collectors; bioclimatic strategies; industrial buildings; energy simulation; photovoltaic energy.



INDICE

INTRODUCCIÓN	14	
OBJETIVOS	17	
Objetivo General.	17	
Objetivos Específicos.	17	
CAPITULO 1	LA ENERGÍA SOLAR EN EDIFICIOS INDUSTRIALES	19
1.1 La industria y las energías renovables.	20	
1.2 Demanda energética industrial del Ecuador.	21	
1.3 Potencial solar del Ecuador.	22	
1.4 La energía solar.	23	
1.5 Uso de la energía solar en la Industria.	25	
CAPITULO 2	ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO	27
2.1 Captación solar pasiva.	28	
2.2 Estrategias de diseño pasivo para edificios industriales.	29	
CAPITULO 3	TECNOLOGÍA SOLARES ACTIVAS Y LA ARQUITECTURA	39
3.1 Captación solar activa.	40	
3.2 Energía Fotovoltaica.	41	
3.2.1 Requerimientos y parámetros de los fotovoltaicos para el diseño.	43	
3.2.2 Aspectos expresivos de los fotovoltaicos para el diseño.	45	
3.2.3 Aspectos funcionales y constructivos de los fotovoltaicos.	48	
3.3 Integración Arquitectónica de colectores solares fotovoltaicos	50	
3.3.1 Determinación de Integridad.	50	



	3.3.2 Posibilidades de integración morfológica de colectores .	52
	3.4 Casos estudio. Edificios Industriales.	56
	3.5 Casos estudio. Edificios no Industriales.	60
CAPITULO 4	EDIFICIOS INDUSTRIALES GRAIMAN: SITUACIÓN ACTUAL Y PROPUESTA DE ENVOLVENTE	65
	4.1 Lugar de estudio: Parque industrial de Cuenca.	66
	4.2 Objeto de estudio: Edificios industriales Graiman .	68
	4.2.1 Tipologías de los edificios industriales.	74
	4.2.2 Consumo de combustibles de Cerámicas Graiman.	76
	4.2.3 Análisis bioclimático.	78
	4.2.4 Estudio de sombras y recorrido solar.	80
	4.2.5 Conclusiones del análisis.	84
	4.3 Propuesta de envolvente para edificio industrial Graiman.	85
	4.3.1 Estimación de niveles de iluminación natural y confort térmico	99
	4.4 Propuesta de envolvente para el recinto Graiman.	103
	4.4.1 Estimación de la producción de energía fotovoltaica.	105
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	116
	REFERENCIAS	117
	CRÉDITOS DE IMÁGENES	122
	ANEXOS	126



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Diego Sebastián Marín López, autor del trabajo de titulación "Integración Arquitectónica de sistemas solares activos y pasivos en edificios industriales. Caso estudio Cuenca-Ecuador", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 10 de abril del 2018.

Diego Sebastián Marín López

C.I: 0105742712



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Diego Sebastián Marín López, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Integración Arquitectónica de sistemas solares activos y pasivos en edificios industriales. Caso estudio Cuenca-Ecuador", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 10 de abril del 2018

Diego Sebastián Marín López

C.I: 0105742712





DEDICATORIA

A mis padres Pablo e Isabel, por su amor y apoyo incondicional. A mis hermanos Pablo y Adriana.

A mis amigos y compañeros por siempre estar apoyando y pendientes durante el desarrollo de este trabajo.





AGRADECIMIENTO

A mi director Arq. PhD. Esteban Zalamea por la paciencia y el apoyo constante para la realización de este trabajo.

Un agradecimiento especial al Grupo Industrial Graiman y Centrosur por la información proporcionada.

INTRODUCCIÓN

El sector industrial ecuatoriano consume el 19% de la energía primaria total del país. Esta energía es destinada para procesos dependientes de electricidad o calor, siendo el Diesel (38%) y la electricidad (31%) las de mayor consumo (MICSE, 2016). Según el “Plan Maestro de Electricidad 2016-2025” (MEER, 2017), se estima un crecimiento promedio anual del 2,77% de la industria y un 5,3% del consumo de combustible por año, esto debido a la implementación de industrias básicas, que significan un crecimiento económico al país e incremento de la demanda de electricidad principalmente.

Actualmente en Ecuador, el 40% de la energía eléctrica es de origen termoeléctrico y el 60% de fuentes renovables, donde el 58% proviene de hidroeléctricas y el 2% restante desde energía eólica, solar y biomasa (ARCONEL, 2017). De acuerdo al “Plan Maestro de Electricidad 2016-2025” (MEER, 2017), para el 2017 se esperaba que más del 93% de la energía eléctrica, sea generada por hidroeléctricas. Esto todavía no sucede, debido a la demora en la construcción de 16 grandes proyectos que están en procesos de desarrollo y construcción. Hoy existen 62 hidroeléctricas en funcionamiento en el país.

En este sentido, para continuar con el desarrollo económico del país y mitigar el cambio climático, el país recurre principalmente a la construcción de hidroeléctricas, como fuente de energía renovable, sin embargo, estas están

en discusión de ser limpias, seguras y respetuosas con el medio ambiente. La construcción de hidroeléctricas afecta al ecosistema del entorno y generan grandes cantidades de metano y CO₂. Además, la construcción, mantenimiento y sistemas de transmisión de electricidad, es costoso (Cande, 2013).

Por estas razones, se tiene que buscar alternativas más sustentables a la energía hidráulica, que aseguren una economía sostenible y un medio ambiente limpio. La autogeneración mediante otras fuentes renovables, es una alternativa para democratizar la energía e incentivar nuevos puestos de trabajo con recursos que se destinarían a comprar combustibles o la construcción de megaestructuras de generación. En nuestro país, la energía solar tiene un potencial enorme, puesto que, la estratégica ubicación geográfica se traduce en alta y constante irradiación (INER, 2014b).

El sol es una fuente de energía renovable y en términos humanos, inagotable. Una de las ventajas fundamentales de esta energía es que permite la obtención de electricidad y calor sin recurrir a ningún tipo de combustión, y por tanto no se producen emisiones a la atmósfera, se reducen fenómenos nocivos como lluvia ácida y el denominado efecto invernadero (Marín, 2004). En este sentido, la energía solar podría utilizarse en las industrias para generar calor térmico de procesos y electricidad. Las tecno-



logías solares desarrolladas para la captación solar activa, serían una solución factible al integrarse a los edificios industriales ya que apoya las necesidades de consumo energético, da lugar a diseño innovadores, se aprovechan las grandes superficies no utilizables y puede contribuir a crear condiciones ambientes interiores adecuadas al aprovecharse con un correcto diseño arquitectónico.

A pesar de esto, existen barreras como el desconocimiento de la tecnología, la falta de confianza del usuario e incluso del arquitecto en el rendimiento y las pocas herramientas para cuantificar e ilustrar el uso y producción. Por otra parte, en el país no existen incentivos que promuevan a implementar energías renovables, como los que hay en otros países: Alemania, Italia, Japón, Suiza, USA, China, Chile, etc.

Por estas razones, este trabajo pretende demostrar la implicancia y el potencial de integrar arquitectónicamente captadores solares activos y estrategias solares pasivas de diseño, que permitan suplir las demandas energéticas y crear condiciones de confort adecuadas de la industria Graiman, en Cuenca-Ecuador.

Para lograr este objetivo se revisa un marco teórico sobre las demandas industriales en Ecuador y el mundo, y por qué y cómo podría la energía solar ser utilizada en la industria. Luego, se estudian las estrategias de diseño

pasivo de uso común en industrias, mediante el análisis de referentes. Posteriormente se analiza las tecnologías solares activas, posibles de integrarse arquitectónicamente en edificios industriales. Se presentan parámetros, aspectos, posibilidades y pautas de diseño para captadores solares fotovoltaicos. Se estudian casos de edificios industriales y no industriales, donde la tecnología solar esté considerada, precisando beneficios energéticos y ambientales.

En una segunda etapa se realiza el análisis del estado actual de los edificios de industrias Graiman, que sirve de base para la toma de decisiones en la generación de la propuesta. Se estudia el emplazamiento de los galpones, demanda energética, estrategias pasivas y tipos de galpones. El trabajo finaliza con el desarrollo de una propuesta de envolvente para un edificio industrial, el cual puede extrapolarse a otros edificios industriales de similares características. Esta envolvente integra colectores fotovoltaicos y estrategias pasivas. Más allá de las posibilidades pasivas, este trabajo se centra en dimensionar la posibilidad de autogeneración fotovoltaica, considerando las enormes demandas energéticas existentes. A través de simulaciones se evalúa niveles de iluminación natural y confort térmico interior. Luego se estima la producción de energía para compararla con la demanda, cuantificando así, el abastecimiento, además de los beneficios económicos y ambientales.





OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Determinar condiciones de diseño de envolventes en edificios industriales, que puedan contribuir en el aprovechamiento de la energía solar para suplir las demandas de energía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O1. Estudiar los aspectos del diseño bioclimáticos relacionados con el aprovechamiento pasivo de las energías.

O2. Estudiar las tecnologías de captación solar activa con posibilidad de integración arquitectónica.

O3. Proponer el rediseño de un edificio industrial (envolvente) con integración de colectores solares, para el aprovechamiento de la energía solar, dentro de la perspectiva bioclimática.

O4. Evaluar el potencial de la energía solar con la envolvente propuesta, frente a la demanda energética.

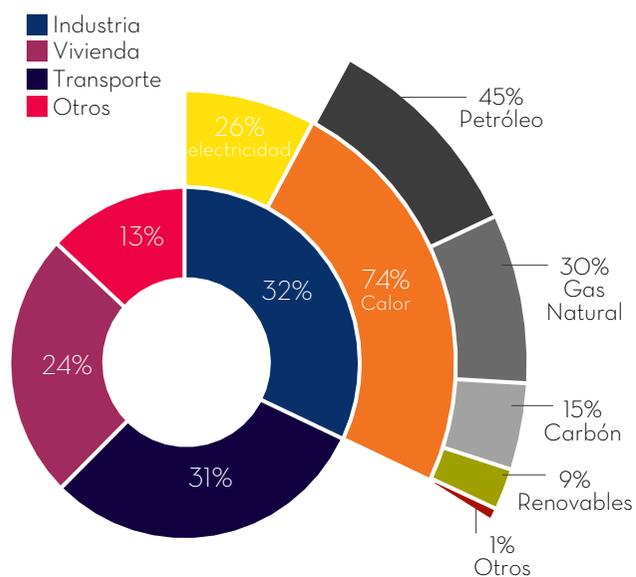




CAPITULO 01

LA INDUSTRIA Y LA ENERGÍA SOLAR

1.1 LA INDUSTRIA Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES.



01. Consumo de energía en la industria mundial año 2014.

Un tercio de la energía total del mundo es consumida por la industria. Energías como gas natural, petróleo, carbón y electricidad son las más demandadas y a la vez, las que más emisiones de CO₂¹ generan. Se prevé que las emisiones mundiales de CO₂ del sector industrial (que incluyen emisiones relacionadas con la energía y emisiones de CO₂ de procesos industriales) crecerán un 24% entre 2014 y 2050, según la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2017).

Tres industrias que entregan materiales básicos: cemento, hierro, acero, y productos químicos, son “responsables” del 70% de todo el CO₂ industrial directo global (75% con la adición de las industrias de aluminio, pulpa y papel), esto debido principalmente a las altas demandas de energía térmica para estos procesos industriales. Tres cuartas partes de la energía utilizada en la industria es calor de proceso, el resto es para trabajo mecánico y electricidad (figura 01). En estas industrias, los costes energéticos representan una gran proporción de los costes totales de producción, por lo que los directivos prestan especial atención a reducirlos (Philibert, 2017).

Las reducciones rápidas de costos, sumado el incremento de eficiencia en energía solar fotovoltaica (desde ahora PV) y eólica pueden permitir nuevas opciones para reducir el impacto (NREL, 2018). La electrificación de procesos

industriales, si se basa en tecnologías renovables, puede ofrecer un mayor potencial para la reducción de emisiones de CO₂. Esto implica utilizar electricidad para generar movimiento, fuerza, calor y vapor, y así reducir el uso de combustibles fósiles. Varias fuentes renovables, como la biomasa, la radiación solar y la energía geotérmica, se pueden utilizar para producir calor con fines industriales, siendo la primera la que domina significativamente mientras que las otras ofrecen un alto potencial (Philibert, 2017).

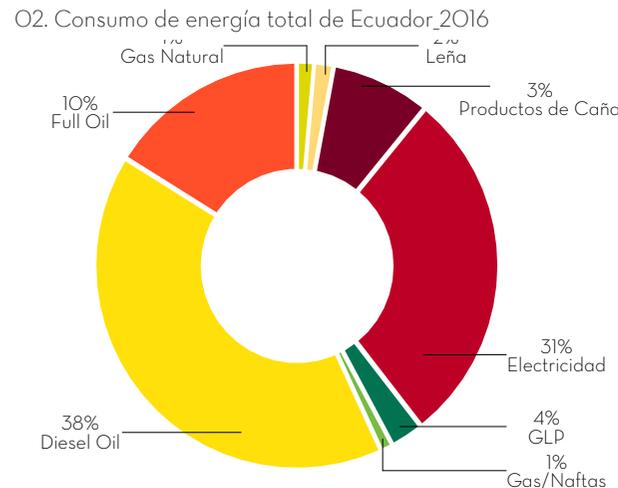
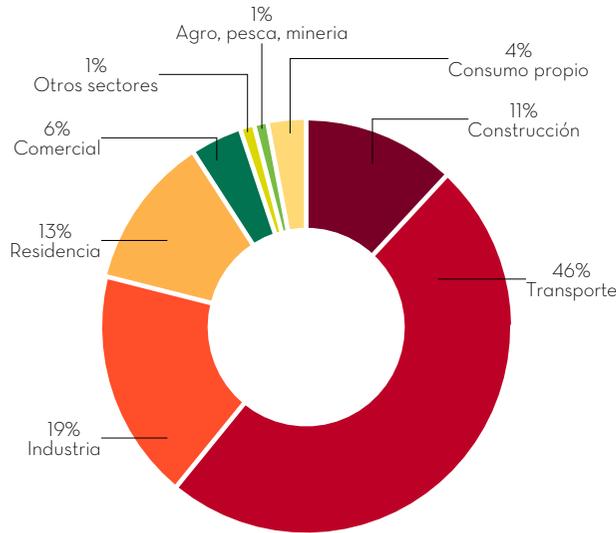
El papel de las energías renovables en el sector eléctrico y en el sector de los edificios, se ha investigado ampliamente. Pero menos para el caso de la industria, donde las energías renovables han sido el tema de solo un número limitado de estudios. Hasta la fecha, la mayoría de las innovaciones relacionadas con la energía en la industria han sido para mejorar la eficiencia energética en lugar de reducir las emisiones de GEI², ya que la energía siempre ha tenido un costo, mientras que las emisiones, no (Philibert, 2017).

Es muy importante aplicar energía renovable para contribuir con la producción de energía y junto con otras tecnologías generar nuevos procesos industriales que sustituyan los combustibles fósiles; reduciendo así la emisión de GEI, promoviendo la sostenibilidad energética y mejorando la eficiencia del sistema (IRENE&ETSAP, 2015).

1. Dióxido de Carbono.
2. Gases de Efecto Invernadero.



1.2 DEMANDA ENERGÉTICA INDUSTRIAL DEL ECUADOR.



O3. Consumo de energía en la Industria Ecuador, 2016

El desarrollo industrial del Ecuador requiere el suministro de energía térmica y eléctrica para sus procesos. El consumo energético nacional señala que el transporte es el que mayor demanda (46%), seguido por la industria (19%) y luego el consumo residencial (13%) (figura O2). Actualmente, gran parte de la energía térmica es suministrada mediante el uso de combustibles fósiles y los derivados de petróleo. En la industria ecuatoriana el Diesel (38%) y la electricidad (31%) son las fuentes energéticas más utilizadas (figura O3) (MICSE, 2016).

En cuanto al consumo eléctrico en edificaciones, la mayoría se destina a la industria 39%, seguido por el sector residencial 30% y comercial 20% (figura O4) (MICSE, 2016). Para la generación de energía eléctrica, actualmente la mayoría proviene de hidroeléctricas, desde la puesta en marcha de las últimas hidroeléctricas en 2015 y 2016. (figura O5), con una capacidad efectiva de 58% en la generación de energía eléctrica nacional (MEER, 2017).

Por ejemplo, algunas Industrias en Ecuador, como General Motors Quito, consume 5.000 MWh/mes en promedio (energía eléctrica+diesel) en procesos de suelta, pintura, ensamble e iluminación. Indurama consume regularmente un valor mensual de 238.027KWh en electricidad. Novacero consume 10 millones de KWh/mes (electricidad+diesel) en procesos de laminación y fundición (MEER, 2016).

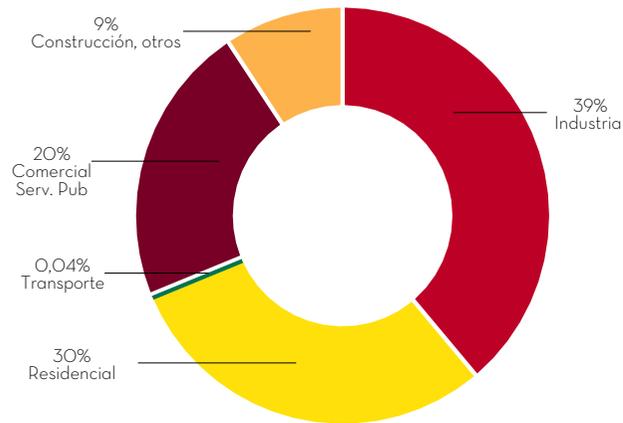
Según el Plan Maestro de Electricidad 2016-2025, del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, se estima un crecimiento industrial promedio anual del 2,77% para el periodo 2016 - 2025. Se prevé la implementación de las Industrias Básicas (aluminio, cobre, astilleros y petroquímica) que generarán crecimiento económico en el país y un significativo incremento en la demanda de energía eléctrica (MEER, 2017).

ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN AL AMBIENTE

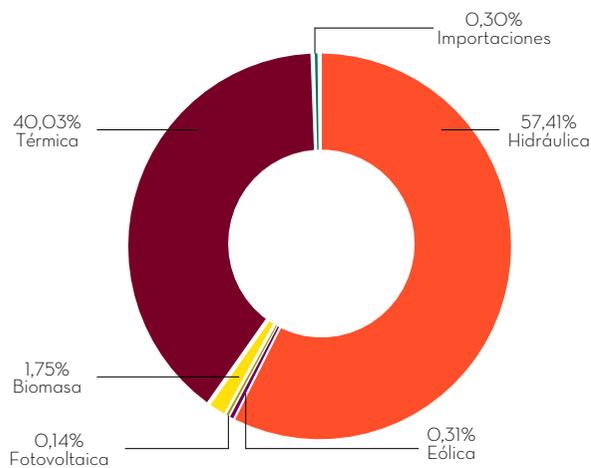
Es importante vincular el sector energético y el ambiental con el fin de promover el desarrollo sostenible de los dos sectores. En el caso de Ecuador, el Diesel es el principal energético contaminante (34%), seguido de las gasolinas (23%) y el fuel oil (15.2%). Por actividad, el transporte es el principal sector contaminante (42%), el sector eléctrico (centrales eléctricas y autoprodutores) es el segundo mayor emisor de contaminantes (14%), seguido del sector industrial (13%) (MICSE, 2016).

Es de destacar que a los consumidores de energía en el ámbito local no les interesa las fuentes de energía que consumen sino la prestación de un servicio confiable para que sus máquinas y equipos funcionen como esperan. En el extranjero tanto en el sector público como privado actualmente es prioridad reducir los niveles de emanaciones.

1.3 POTENCIAL SOLAR EN ECUADOR



O4. Consumo de electricidad por sector en Ecuador_2016



O5. Estructura de la generación eléctrica en Ecuador_2016

La ubicación geográfica del Ecuador lo convierte en un país privilegiado en irradiación solar. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a la superficie terrestre durante las horas cercanas al medio día, situación que ocurre solamente en la zona ecuatorial. Esta ventaja posicional del Ecuador se traduce en una recepción alta y constante de irradiación que varía de acuerdo a la nubosidad mayormente, pero no existe variaciones por estaciones en el año, siendo mucho más estable relativamente respecto a otras latitudes. Según el “Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica”, el valor de insolación directa promedio del Ecuador continental es de 2.543 Wh/m²/día; la insolación difusa promedio es de 2.032 Wh/m²/día; y la insolación global promedio es de 4.575 Wh/m²/día (MEER, 2017).

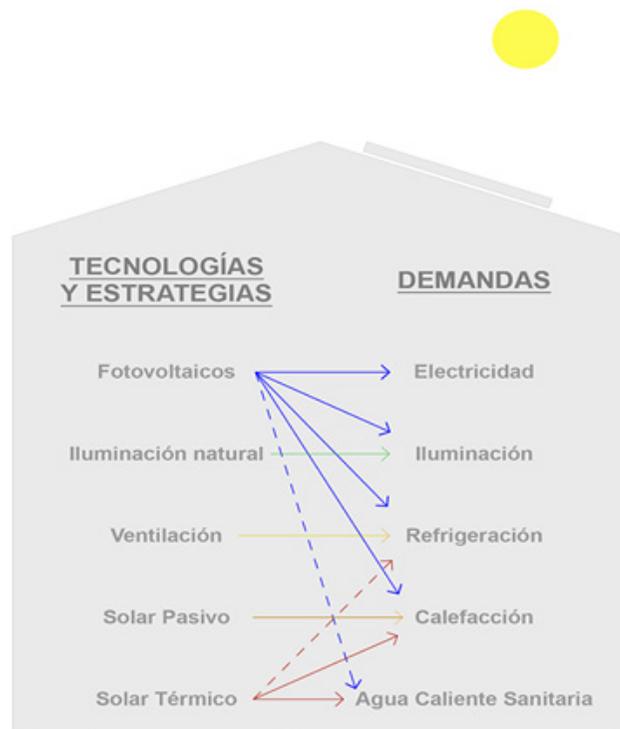
A pesar de las buenas condiciones de irradiación, la participación de esta fuente para cubrir la demanda energética nacional es mínima, participa con el 0.14% de la producción total de energía eléctrica (figura O5) (ARCONEL, 2017). La energía solar puede convertirse en la tercera fuente de energía, luego del petróleo y la hidroelectricidad (INER, 2014b).

Por la abundancia de recursos fósiles, bondades climáticas y políticas estatales, la eficien-

cia energética no se ha considerado prioritario, para el bajo consumo energético. El proceso de planificación arquitectónica convencional no prioriza la interacción de los habitantes con la edificación, como tampoco el comportamiento térmico al interior asociado al clima y a otros factores externos. Todo esto representa pérdidas económicas para el país, pobre calidad habitacional por el uso ineficiente de los recursos energéticos en las edificaciones, sean viviendas, oficinas o industrias (INER, 2014b).

Se prevé que los edificios autoabastezcan en la mayor medida posible la misma cantidad de energía que consumen, utilizando energías renovables (Disch, 2010). La energía de mayor potencial para edificaciones es la solar, que mediante la integración arquitectónica de captadores solares y el diseño bioclimático serían alternativas óptimas en eficiencia energética sin perder en calidad de diseño, siendo posible abastecer de energía eléctrica, agua caliente, enfriar, calentar e iluminar espacios gracias al sol (figura O6).

1.4 LA ENERGÍA SOLAR



06. Tecnología activas y pasivas destinadas a demandas de edificios

La energía solar es una energía renovable que se obtiene de la radiación del sol. El sol es la fuente de energía más limpia, abundante y casi infinita que se disponible, recibiendo la Tierra durante una hora más del total de energía demandado por todo el mundo (IEA SHC Task 41, 2012).

La energía solar se puede utilizar de forma pasiva sin ningún dispositivo o aparato intermedio, mediante la adecuada ubicación, diseño, orientación de los edificios y empleando correctamente las propiedades de los materiales. Con la aplicación de criterios de arquitectura bioclimática se puede reducir significativamente, e incluso eliminar la necesidad de climatizar los edificios, así como la necesidad de iluminarlos durante el día.

Por otra parte, la energía solar podría aprovecharse activamente mediante dos vías: la solar térmica (desde ahora ST), que transforma la energía procedente del sol en energía calorífica y la PV, que convierte directamente la energía solar en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico y termoelectrónico (transforma el calor en energía eléctrica de forma indirecta) (Marín, 2004). El problema de la energía solar activa es que no abastece durante la noche sin un dispositivo de almacenamiento, además la nubosidad y movimiento solar provoca oscilación de producción durante el día.

Debe señalarse que cada KWh generado con tecnología PV evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente un kilo de CO₂, en caso de comparar con la generación eléctrica con carbón, o de aproximadamente 400 gramos de CO₂, cuando se compara con la generación eléctrica mediante gas natural (Ramos, 2014).

En la actualidad, según el informe anual 2016 de la International Energy Agency (IEA) - Solar Heating & Cooling Programme (SHC), en el 2014, las tecnologías solares térmicas produjeron 335 TWh, que corresponde a un ahorro equivalente de 36,1 millones de toneladas de petróleo y 116,4 millones de toneladas de CO₂. La gran mayoría de la capacidad solar térmica al final del 2014 estaba en China (289,5 GWT) y Europa (47,5 GWT), que en conjunto representaron el 82% de la capacidad total. De los 10 principales mercados en 2014 el crecimiento positivo se informó de Grecia (+ 19,1%), México (+ 18,2%), India (+ 7%), Brasil (+ 4,5%) y Estados Unidos (0,9%) (IEA-SHC, 2016).

Además, según el Photovoltaic Power System Programme (PVPS) de la IEA, el 2016 ha visto cerca de 75 GW de capacidad fotovoltaica instalada en todo el mundo, un asombroso 50% por encima de 2015 y el aumento de la capacidad instalada acumulada a aproximadamente 300 GW. Esto se ha dado como consecuencia

3. Kilo Watio hora (KWh): unidad de energía.

de la evolución tecnológica e incentivos, que ha llevado a una dramática reducción de precios en países desarrollados. Al igual que en 2015 China, los EE.UU. y Japón representó a los mercados más grandes en 2016, siendo tres cuartas partes el crecimiento la capacidad instalada en estos tres países (IEA-PVSP, 2017).

Los países latinoamericanos nos encontramos con un retraso importante en cuanto a la implementación de tecnología solar PV. Los sistemas PVs se han considerado para electrificar zonas rurales donde llevar líneas eléctricas de la red pública sería más caro. Sin embargo, el impacto a nivel nacional y mundial no es significativo. Se prevé a futuro que los países en vías de desarrollo serán en donde se dará el mayor incremento de demanda de energía, razón para incorporar sistemas con energía solar como alternativa. (DENA, 2010). Estudios prevén que los países desarrollados incrementarán sustancialmente la energía solar por incentivos hasta el 2050.

La energía solar activa y pasiva, pueden contribuir en gran medida al suministro de energía y a una mayor calidad de la arquitectura. Con un diseño arquitectónico adecuado, el balance de consumo energético se reduce significativamente. Pero la energía solar mal usada o no considerada puede aumentar las demandas de refrigeración y calefacción, reduciendo

el confort. Tecnologías de energía solar activa incorrectamente aplicadas puede llevar a un costo muy alto con una contribución mínima (IEA SHC Task 41, 2012).

Entonces, la integración arquitectónica de la energía solar, es una alternativa para maximizar la eficiencia energética. Pero los arquitectos a la hora de proyectar tendrán que considerar desde etapa temprana de diseño con esta nueva cualidad (Neira, 2013). La integración de energía solar da lugar a diseños innovadores y sistemas constructivos nuevos, pero deberá no perder la calidad en la edificación.



1.5 USO DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA EN LA INDUSTRIA DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS.

La energía ST tiene un potencial enorme en la industria, a nivel mundial alrededor del 30% del calor necesario para procesos industriales (figura O7) requieren temperaturas inferiores a los 100°C, lo cual entra dentro de la capacidad de tecnología de baja temperatura (menos de 150°C) (IRENE&ETSAP, 2015). Las principales áreas de aplicación para sistemas solares térmicos se encuentran en los sectores de alimentos, químicos, bebidas, transporte, equipos, textil, maquinaria e industrias de celulosa, procesos de limpieza, secado, esterilización y pasteurización.

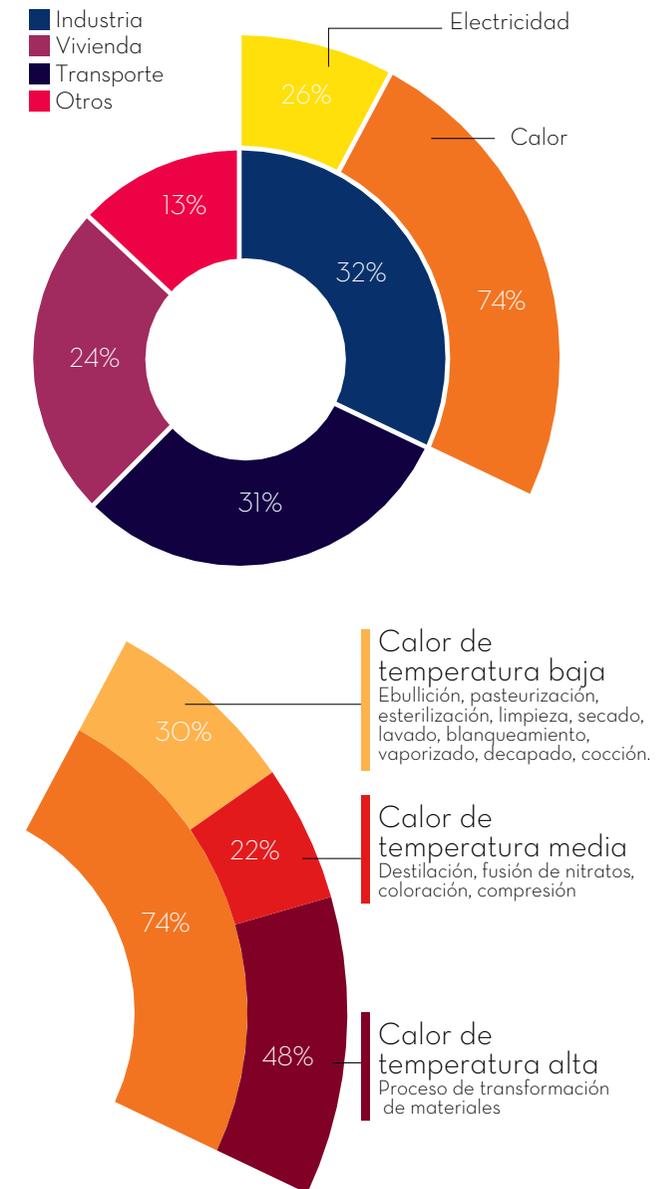
Pero, enfocándonos en el objeto de estudio que es una industria cerámica, no existen procesos que requieran energía térmica a baja temperatura, ya que para la cocción de la cerámica se usan temperaturas mayores a los 1.000 °C. En este sentido, para este trabajo, se descarta la aplicación de la tecnología ST.

ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA INDUSTRIA DE REVESTIMIENTOS CERÁMICOS.

La obtención de electricidad a partir de sol está en aumento. En muchos casos, las industrias apuntan a sustituir la electricidad de la red por

electricidad renovable para el uso de electricidad actual y habitual. Sin embargo, en algunos casos la electricidad de fuentes renovables, reemplaza el uso directo de combustibles fósiles, destinados a la generación de calor en proceso o movimiento (motores). De esta manera, la electricidad puede sustituir compresores, bombas y válvulas accionadas por vapor y gas (Philibert, 2017). En la industria cerámica, procesos como el prensado, esmaltado, impresión, circulación de bandas transportadoras, dosificadoras, empaquetado, pueden ser considerados para ser alimentados desde energía solar PV.

La lentitud en la implantación de estas tecnologías se debe a que la integración de los sistemas solares en los procesos industriales no es un desafío fácil y requiere una comprensión completa de todo el sistema para tener en cuenta varios parámetros, medidas de eficiencia energética, integración de procesos de recuperación de calor, y un análisis detallado de la demanda de energía y los diferentes niveles de temperatura del proceso en diferentes momentos de tiempo (TECNOCE,2015). Una de las barreras principales de la alimentación eléctrica renovable es la imposibilidad de coincidencia temporal de producción-consumo, ello implica la necesidad de funcionar en conexión a red o Net-Metering (capítulo 2) o la opción aún más costosa de integrar sistemas de almacenamiento.



O7. Consumo final de energía en la industria a nivel mundial 2014.





CAPITULO 02

ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO

2.1 CAPTACIÓN SOLAR PASIVA

ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y DISEÑO SOLAR PASIVO

El diseño solar pasivo es parte sustancial en el diseño bioclimático; una arquitectura adaptada al medio ambiente, sensible al impacto que provoca en la naturaleza, y por ende intenta minimizar el consumo energético y con él, la contaminación ambiental. Así, el diseño pasivo tiene el fin de lograr edificios acondicionados ambientalmente a través de procedimientos naturales. En el diseño pasivo, según las condiciones climatológicas y el entorno, se determinan las estrategias para minimizar el consumo de energía convencional para calefacción, refrigeración, iluminación y equipos. Se aprovecha los recursos naturales disponibles como: el sol, las corrientes de aire externas o autoprovocadas, las características propias de los materiales de construcción, la orientación, lluvia, vegetación, entre otras; aplicando estos aspectos a la distribución de los espacios, la apertura y orientación de las ventanas, etc. (Garzón, 2007).

Cualquier edificación que integre energías renovables, es requisito previo, considerar medidas de eficiencia energética y estrategias de diseño pasivo. Resultaría absurdo e incoherente edificios que integren energías renovables, si la energía producida se destina a abastecer demandas consecuentes por deficiencias de diseño. Las estrategias de diseño pasivo atienden

ESTRATEGIAS GENERALES

ESTRATEGIAS GENERALES		SISTEMAS Y SOLUCIONES
Diseño general del Edificio	Captación de la radiación solar	Ubicación Forma Orientación
Mejora de la envolvente térmica	Conservación de la energía	Mejora del aislamiento térmico Fachadas ventiladas Cubiertas ventiladas Fachadas vegetales Cubiertas vegetales Vidrio y marcos con baja transmitancia térmica

ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN

Calefacción Solar	Captación directa Captación indirecta Captación semidirecta	Ventanas, lucernarios y huecos Muros captadores y acumuladores Invernaderos y galerías acristaladas
-------------------	---	---

ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN

Protección solar	Exterior	Umbráculos Parasoles Persianas y contraventanas
	Externa	Vegetación
	Intermedia	Vidrios especiales
	Interior	Persianas y estores

Tabla 01. Estrategias de diseño pasivo.



2.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO PARA EDIFICIOS INDUSTRIALES

ESTRATEGIAS GENERALES		SISTEMAS Y SOLUCIONES
Ventilación natural	Cruzada	Huecos
	Con tiro térmico	Efecto Chimenea Aspiración estática (efecto Venturi)
	Inducida	Torre viento
Tratamiento del aire	Enfriamiento evaporativo	Agua Vegetación
	Reducción de la temperatura del aire	Conductos enterrados Patios Refrigeración nocturna
	Minimizar el flujo conductivo del calor	Masa térmica Colores de tonos claros
Evitar ganancias	Minimizar infiltraciones	Disminuir el tamaño de los huecos

ESTRATEGIAS DE ILUMINACIÓN

Luz natural	Captar	Galeria, Patio, Conducto de luz Porche, atrio, claraboya, techo translúcido
	Transmitir	Ventanas: bilaterales, unilateral o multilaterales
	Distribución	Repisas de luz Superficie de los espacios interiores Forma y ubicación de las ventanas Atrios
	Protecciones	Moviles, fijas

Continuación Tabla O1.

requerimientos de calefacción, refrigeración e iluminación, siendo las de la tabla O1, las más utilizadas para las edificaciones. Sin embargo, los edificios industriales comparados frente a las viviendas, no tienen las mismas necesidades de confort, por lo que son pocas las estrategias utilizadas, siendo las de ventilación e iluminación las más recurrentes ya que se prioriza el confort visual y la calidad del aire. En general podemos decir que los aspectos que incorpora la postura Bioclimática se desarrollan a partir de la búsqueda del confort físico (térmico, acústico, lumínico), psicológico y cultural. Una vieja afirmación asegura que la “buena arquitectura” ha sido siempre bioclimática (Garzón, 2007).

A partir de un estudio de referentes, se describen las estrategias pasivas que han tomado algunos edificios industriales para lograr eficiencia energética y confort físico.

EDIFICIOS INDUSTRIALES DE PORTO DO MOLLE.

Las cuarenta naves bioclimáticas de Porto do Molle, en Galicia, es uno de los mejores ejemplos de arquitectura industrial bioclimática. Los objetivos del proyecto fue minimizar el impacto de estas grandes construcciones sobre el paisaje que los rodea, conseguir naves energéticamente eficientes construidas produciendo mínimos residuos de obra (figura O8).

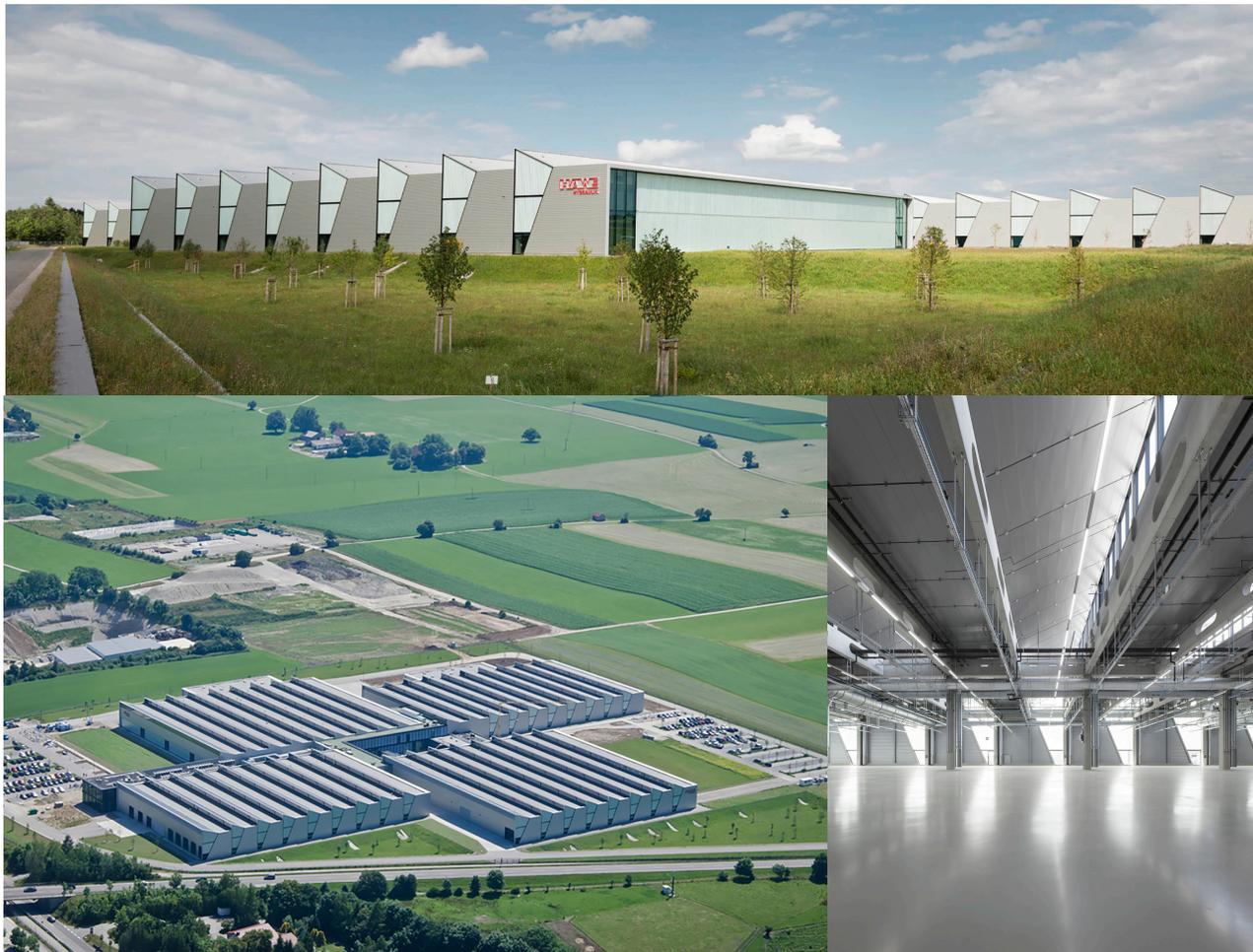
Las naves industriales están dotadas de cubiertas vegetales sin necesidad de riego que proporcionan aislamiento térmico y sistema de drenaje sostenible del agua lluvia. Además, humedecen el ambiente y emiten oxígeno reduciendo el calentamiento atmosférico y promoviendo un clima más agradable (Econoticias, 2011).

La eficiencia energética se logra con la instalación de paneles PVs para la producción de energía eléctrica y sistema de ventilación cruzada para refrescar los interiores en verano sin tener que recurrir al aire acondicionado. Dispone de iluminación cenital con lucernarios de policarbonato con características de mejor aislamiento que los vidrios normales. Las plantas tienen un sensor de temperatura que abre las ventanas automáticamente para que el aire caliente se evacue mediante el efecto stack. Los aislamientos térmicos y acústicos son de lana de roca de 80mm en cubierta y fachada (Econoticias, 2011).

Se separa tráfico rodado del peatonal, generando un gran espacio intermedio para dotar de iluminación y ventilación natural a las oficinas de las naves. Con todo esto se reduce el 83.65% de emisiones de CO₂ respecto a otras naves establecidas (Econoticias, 2011).



O8. Naves Industriales en Parque Empresarial Porto do Molle.



O9. Fábrica HAWE Kaufbeuren.

FÁBRICA HAWE KAUFBEUREN

Ubicada en Bavaria, Alemania, es una fábrica de sistemas hidráulicos móviles y componentes, construida en 2014 (figura O9). Los cuatro volúmenes se organizan alrededor de un patio que proporciona iluminación a las oficinas, sala de conferencias y cafetería, los cuales están contenidos en muros de hormigón prefabricado para el aislamiento térmico como acústico del resto de la fábrica. Las cubiertas de los galpones en forma dientes de sierra se orientan hacia el norte, ofreciendo luz de día (difusa en Alemania), mientras que las superficies opacas de los galpones se orientan al sur, ideal para los colectores solares. Para que la luz se transmita hasta las profundidades de los espacios, la superficie de los materiales es de tono claro. La altura considerable de las naves incrementa la refrigeración de los espacios.

Por otra parte, las características sostenibles incluyen un sistema de recuperación de calor donde el calor residual de las máquinas está integrado en el sistema de calefacción y refrigeración central. En general, a través de la alta eficiencia energética y un rendimiento térmico excelente de la fachada con triple acristalamiento y aislamiento térmico transparente (vidrio canal) permiten a los requisitos energéticos ser superados en casi un 40% (Plataforma Arquitectura, 2015).

LEVERING TRADE

Es una empresa comercializadora de productos tecnológicos ubicada en Zapopan, México (figura 10). Para el proyecto se considera áreas de trabajo en oficinas, así como área de almacén con andenes de carga. Se ensaya una tipología propia de la arquitectura industrial: la cubierta diente de sierra

El módulo diente de sierra se modifica materialmente para atender las necesidades de hermeticidad, transparencia o apertura de vanos; lo que permite iluminar y ventilar pasivamente (Plataforma Arquitectura, 2015b).

BASE DE MANTENIMIENTO DE MOTORES DE JET PIM2

Construida en Orly por la división de bienes raíces de Air France. En este edificio los motores de las aeronaves pertenecientes a Air France, se lavan, se desmontan y se inspeccionan (figura 11).

La iluminación natural alcanza todas las zonas del edificio, que se capta por lucernarios y grandes ventanales. Los tonos claros en paredes y pisos aprovechan la cantidad de luz natural, mejorando las condiciones de trabajo: transformando el taller en una catedral inundada de



10. Levering Trade.



11. Base de Mantenimiento de Motores de Jet PIM2.

luz, en la que las operaciones más meticulosas se realizan con notable tranquilidad dentro de un espacio industrial. La presencia de vegetación en el interior produce frescura por enfriamiento evaporativo (Plataforma Arquitectura, 2015).

RESILIENT ROOF

Resilient Roof es una de las propuestas más destacables de las participantes en el Reto KÖMMERLING, que consistió en diseñar un edificio de oficinas industriales de consumo de energía casi nulo (figura 12). Lo que más caracteriza a este proyecto es la gran cantidad de estrategias pasivas y activas elegidas para optimizar al máximo el funcionamiento del edificio.

Entre las estrategias pasivas están: el diseño de fachadas por orientaciones, hacia el sur se abren grandes huecos protegidos por lamas para conseguir ganancia solar en invierno y minimizar el calentamiento en verano. Hacia el norte se abren lucernarios para iluminar la zona administrativa (figura 13). La forma del edificio está diseñada para inducir un efecto chimenea que facilite la renovación de aire. También se tiene en cuenta el uso de la ventilación cruzada para mejorar el confort térmico (CTE Arquitectura, 2017).

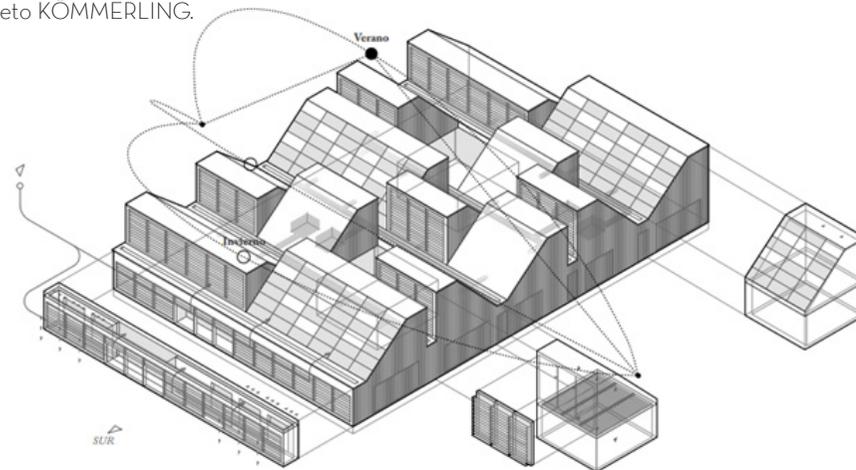
Se aprovecha el calor geotérmico que mediante pozos canadienses se hace circular el aire exterior bajo tierra para atemperar los espacios (figura 14). Además, se recupera el calor del aire interior antes de sacarlo del edificio a través de un intercambiador de calor (CTE Arquitectura, 2017).

Se crea un microclima en el entorno; las inmediaciones del edificio se diseñan para suavizar las condiciones climatológicas. Vegetación, fuentes, pulverizadores y superficies de agua para enfriar por evaporación en verano. Los árboles se sitúan estratégicamente para bloquear los vientos del Norte en invierno. Las especies vegetales propuestas son de hoja caduca para favorecer el soleamiento en invierno y la sombra en verano (CTE Arquitectura, 2017).

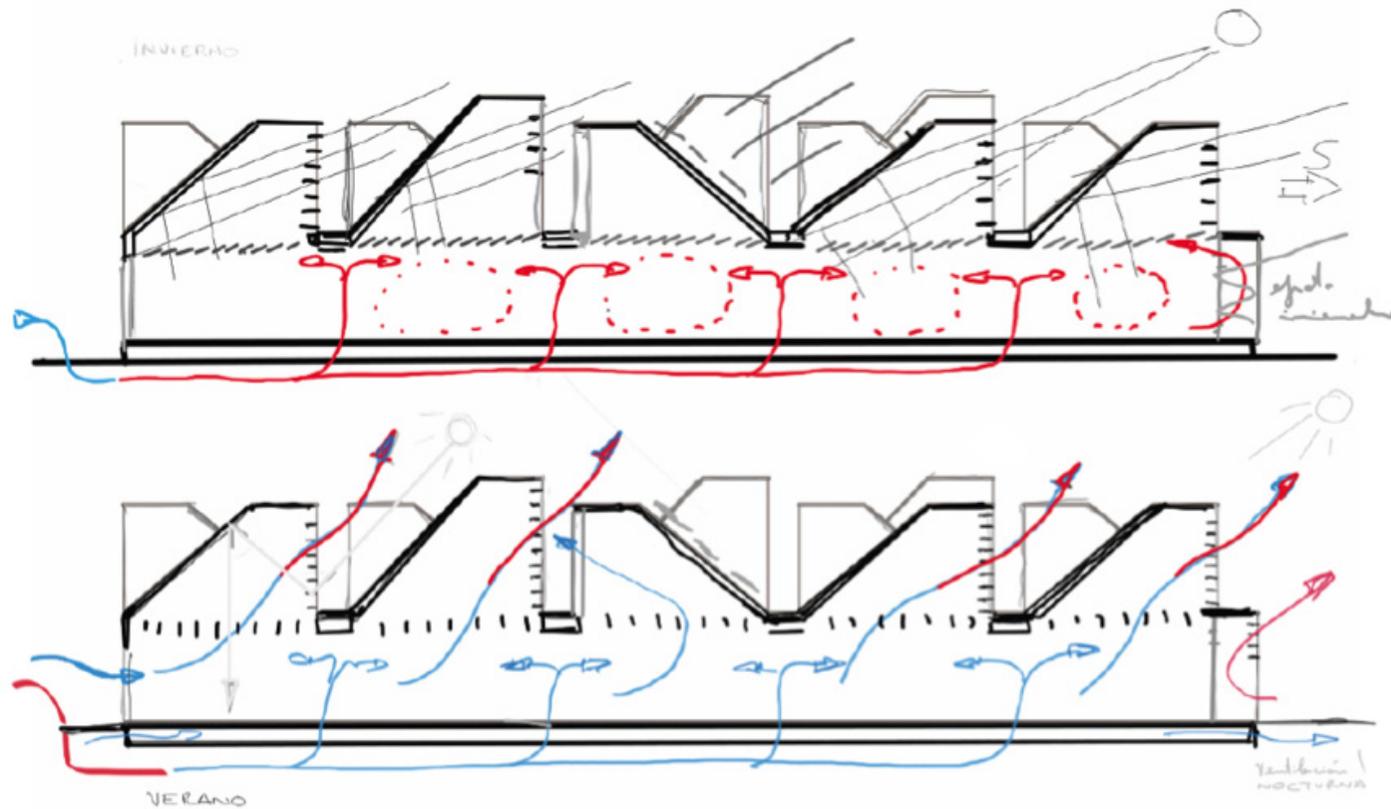
Es oportuno mencionar también las estrategias activas que se implementaron en el edificio, como los grandes planos en la cubierta para la captación solar PV y ST, el control inteligente de la ventilación, con sensores de calidad de aire miden concentraciones de oxígeno y CO₂ y la gestión de reciclaje y óptimo uso del agua (CTE Arquitectura, 2017).



12. Resilient Roof. Reto KÖMMERLING.



13. Axonometría de estrategias pasivas. Resilient Roof. Reto KÖMMERLING.



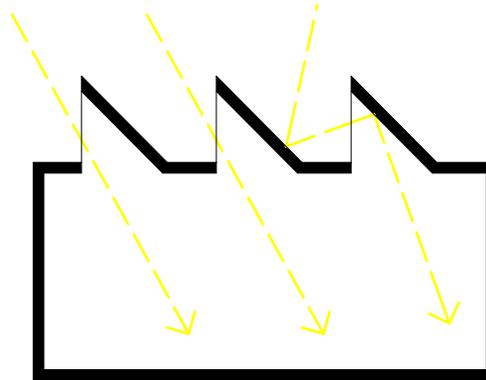
14. Esquema de estrategias pasivas. Resilient Roof. Reto KÖMMERLING.

CUBIERTA DIENTE DE SIERRA

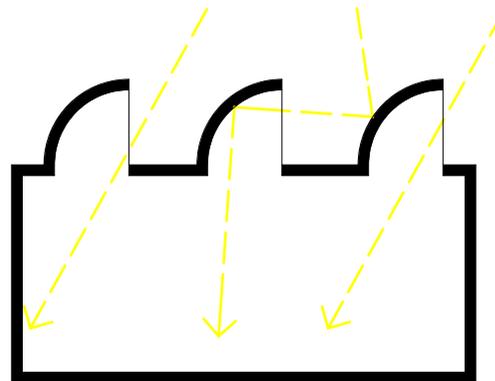
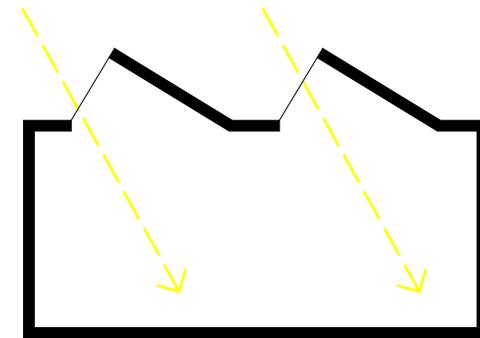
Como conclusión de los ejemplos analizados la estrategia pasiva más utilizada en industrias para ventilación e iluminación es la cubierta en forma diente de sierra. Compuesto por diversas cubiertas de tamaño inferior, dispuestos de forma paralela y sección triangular; la superficie más corta debe ser transparente (figura 15). Existen otras variantes de cubierta diente de sierra curvas (figura 16).

Para edificios ubicados en la zona ecuatorial, se recomienda que la ventana no esté orientado en dirección del sol para evitar la radiación solar directa hacia trabajadores y maquinaria (figura 17). Sin embargo, si el techo diente de sierra está orientado hacia el este o hacia el oeste, debería asegurarse de tener la manera de controlar la cantidad de luz que deja entrar, ya sea durante el amanecer o atardecer (según la orientación) (Spandafora, 2014).

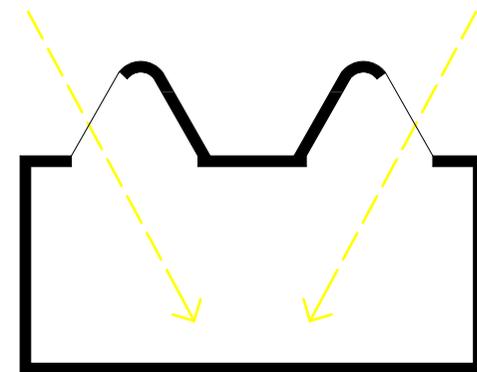
Para la ventilación es necesario que la superficie vertical transparente deba abrirse y estar orientada en dirección del viento (figura 18). De esta manera se garantiza una eficaz salida de calor, humo y gases contaminantes del interior. Además, una geometría de techo recta o convexa puede maximizar la baja presión en la

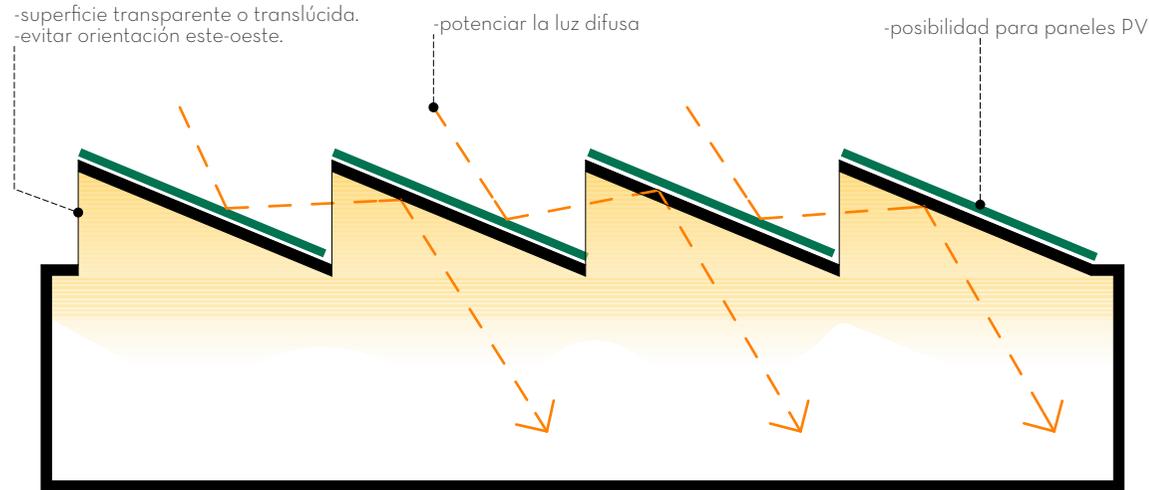


15. Cubierta diente de sierra recta con distinta inclinación

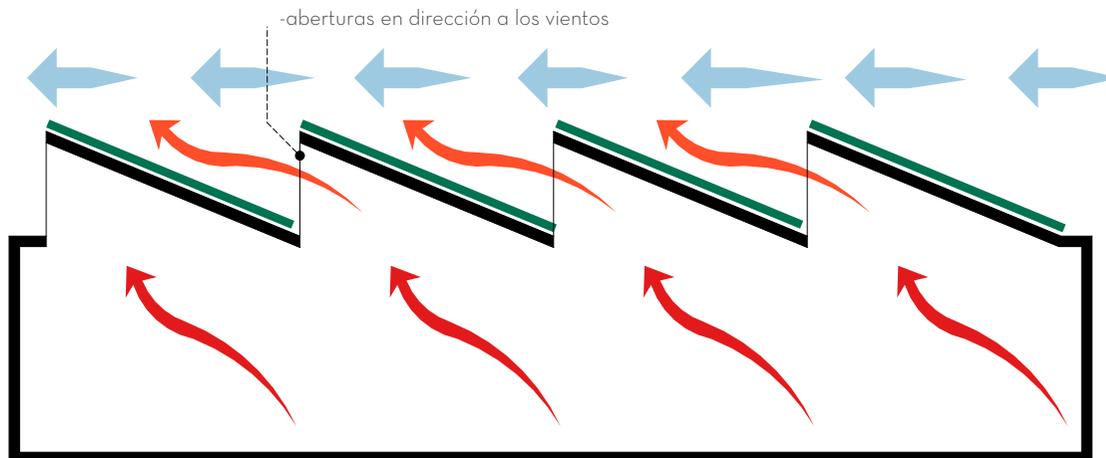


16. Cubierta diente de sierra curva.





17. Iluminación con cubierta diente de sierra.



18. Ventilación con cubierta diente de sierra.

abertura de salida, lo que resulta en un mejor flujo de ventilación cruzada impulsada por el viento. La inclinación del techo a 27° aumenta el caudal de viento en la cubierta, favoreciendo la salida del aire viciado. (Peren, van Hooff, Ramponi, Blocken, & Leite, 2015).

Si bien la cubierta diente de sierra es más costosa y compleja de construir, proporciona altos niveles de luz diurna, tiene un gran potencial para la ventilación y para la aplicación de captadores de energía solar PV.





CAPITULO 03

TECNOLOGÍAS SOLARES ACTIVAS Y LA ARQUITECTURA

3.1 CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA

EL SOL Y LA ARQUITECTURA.

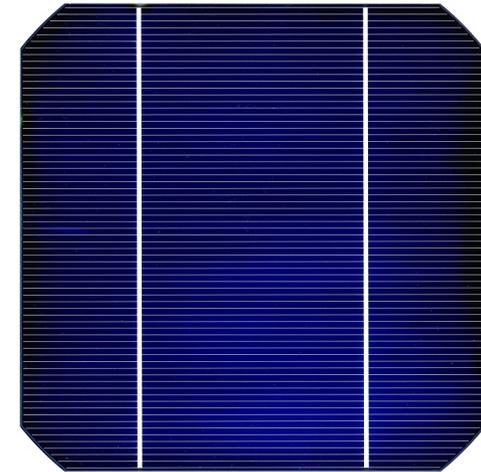
La arquitectura entendida como lugar de la actividad humana y como objeto físico dentro de un contexto específico, debe procurar un aprovechamiento máximo de las condiciones naturales para promover la habitabilidad y usos requeridos de manera confortable y sustentable. Por ello, la arquitectura puede enfocarse en utilizar la fuente de energía más grande que cuenta la superficie de nuestro planeta, que es el sol, ello contribuye a reducir las emisiones de CO₂ y el ahorro de energía primaria. Así, la captación solar pasiva, mediante la radiación solar puedan regular la temperatura, humedad, otorgar luz del día y desinfectar ambientes interiores. No obstante, se deben controlar consecuencias adversas como encandilamiento, sobrecalentamiento o pérdidas y ganancias térmicas excesivas en vanos.

Pero, existen además requerimientos de iluminación, calentamiento de agua o climatización interior, en horarios nocturnos y/o en espacios inaccesibles para el sol, que es necesario abastecer con equipos que requieren energía adicional, los que pueden suplirse con sistemas solares activos, que producen electricidad y/o energía térmica. Entonces las demandas energéticas en un edificio deben estar primeramente dependientes por estrategias pasivas y me-

didadas de eficiencia energética; luego se deben considerar medidas de captación solar activa, las que deben instalarse en concordancia para contribuir según la necesidad (Zalamea-León & Quesada-Molina, 2017).

La energía solar debe ser parte importante del diseño de edificios, el balance energético se puede reducir a través de una utilización adecuada de esta, al integrarse estrategias pasivas y activas conjuntamente. La incorporación de sistemas de energía solar activa en edificios consiste en disponer colectores solares para cubrir demandas energéticas propias, e incluso contribuir a reducir otras externas. Para ello se disponen equipos de recolección solar en la envolvente (techumbres o fachadas), para obtener irradiación, transformarla a energía útil, almacenarla y distribuirla con conexiones al lugar y momento de demanda (Zalamea-León & Quesada-Molina, 2017).

Los sistemas activos se dividen en ST, PV o una combinación entre ellas, híbridas, que pueden abastecer, tanto demanda térmica como eléctrica con un solo dispositivo colector.



19. Monocristalino



20. Multicristalino o policristalino

3.2 ENERGÍA FOTOVOLTAICA



21. PV de lámina delgada

La tecnología PV permite transformar la radiación solar en electricidad por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. La electricidad generada se puede utilizar directamente, se puede almacenar en acumuladores para uso posterior e incluso se puede introducir en la red de distribución eléctrica, la cual funciona como una batería virtual. En la tecnología PV, la unidad básica es la célula solar, y de ellas están constituidos los módulos PV, elementos de fácil manipulación que conectados entre sí en serie o en paralelo componen el generador o sistema eléctrico de una instalación PV.

En la actualidad, casi el 90% de los módulos PVs están fabricados con células de silicio cristalino. Según sea su estructura, el material semiconductor y convertidor de silicio puede ser monocristalino, multicristalino, microcristalino o amorfo. La tecnología predominante es la de silicio multicristalino con el 53% de la producción mundial total, seguida por la de silicio monocristalino, con el 33% (Martín Chivelet, 2011). Los módulos PVs de células monocristalinas son de alto rendimiento, el color de la celda es azul o negro uniforme (figura 19). En cambio, las multicristalinas tienen una superficie manchada y brillante, son menos costosas y de rendimiento inferior a las monocristalinas (figura 20). Los de silicio amorfo tienen un cos-

te más bajo, de un 30-40% que los dos anteriores, pero con eficiencias inferiores, estas últimas no están constituidas por celdas, son delgadas por lo que se conocen como lámina delgada (figura 21) (SUPSI/ISAAC, 2013).

Las tres tecnologías son las más habituales para aplicarse en edificación y están disponibles mayormente en el mercado. Existen otros materiales semiconductores con propiedades adecuadas para la fabricación de células o módulos PVs, como el arseniuro de galio, utilizado para células de concentración o el telururo de cadmio y el diseleniuro de cobre e indio, materiales policristalinos con los que se fabrican módulos comerciales de lámina delgada alternativos a los de silicio amorfo (Martín Chivelet, 2011).

A futuro se prevén tecnologías muy avanzadas, algunas ya existentes en el comercio como las láminas PVs de origen orgánico, las cuales potencialmente serán más económicas por la reducida cantidad de energía requerida para obtención de la materia prima y para la propia fabricación; adicionalmente están en fase experimental módulos PVs transparentes, hormigón PV o pinturas PVs, incluso celdas con capacidad de almacenamiento e inclusión de nanotecnología (Zalamea-León & Quesada-Molina, 2017).

TIPOS DE INSTALACIONES PV

Instalación aislada: en ellas la energía generada será consumida por la edificación y en caso de necesitar más electricidad de la que producen, no pueden abastecerse de la red local, por lo que el excedente se almacena en baterías para disponer de ella cuando sea necesario. Se suelen utilizar en edificios bioclimáticos y públicos de nueva construcción que cuenta con energía solar como valor añadido. La distribución de la energía producida por los módulos pasa por un regulador de carga se almacena en acumuladores (baterías). También se necesita la instalación de un inversor, que transforma la corriente continua de las baterías en corriente alterna para el uso en electrodomésticos (Marín, 2004).

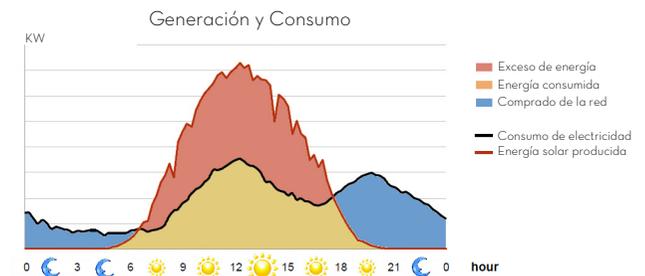
Instalaciones conectadas a la red eléctrica: son aquellas que la energía producida por los PV se vierte directamente a la red. Este sistema no tiene acumuladores. Los huertos solares sirven para este tipo de instalación PV. Para esta instalación se necesita de los módulos PV, elementos para proteger la instalación (regula cantidad de tensión, frecuencia y calidad de onda), inversor y contador de energía. Existe la variante donde la energía PV generada, puede servir para el consumo de la edificación y también alimentar a la red eléctrica (Pérez, 2015).

NORMATIVAS DE INCENTIVO PARA INSTALACIONES PV

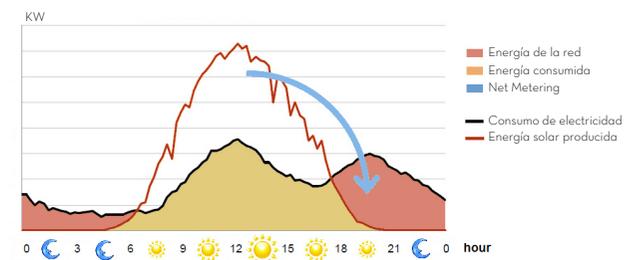
Net Metering: es un incentivo solar que permite al usuario productor de energía obtener ahorros en su consumo o incluso inyectar sus excedentes de energía generada a las redes y recibir un pago por ello. Es decir, usa ambas fuentes de energía, la PV cuando está presente el sol y si necesita más o es de noche, toma de la energía de la red. Sin embargo, si produce más energía de la que en ese momento necesita, entonces “regresa” la electricidad a la red, o sea “hace rotar el medidor en sentido contrario” o “realiza una acumulación virtual con ayuda de la red” (figura 22). Al final, el usuario paga por la diferencia entre lo consumido de la red y lo aportado a la misma (S.W.H Group SE, 2015).

Feed in Tariff: implica que, por unidad de energía producida, mediante fuentes renovables no convencionales inyectada a la red, el productor recibe un incentivo que puede ser una tarifa especial, sobreprecio o premio dependiendo de la fuente renovable que utilice; así, aquellas tecnologías que tengan mayores costos de generación reciben mayores beneficios (Leyton, 2010).

Desafortunadamente, estos beneficios no están disponibles en Ecuador.



Net Metering permite el consumo de electricidad cuando sea necesario



22. Posible situación cuando se usa Net Metering



3.2.1 REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE LOS PV PARA EL DISEÑO

Con el fin de aprovechar al máximo la energía obtenida y evitar problemas de productividad de los módulos PV, el Centro de Competencia BiPV de Suiza recomienda (SUPSI/ISAAC, 2013):

ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN

Para cada situación geográfica, hay diferentes niveles de irradiación asociados con diferentes disposiciones en orientación e inclinación. Como principio general, para maximizar la captación de irradiación, las superficies PV deben estar orientadas hacia el sur cuando estén situadas al hemisferio norte y hacia el norte para los países situados hemisferio sur. Para el caso de países situados en la línea ecuatorial, recae irradiación directa en superficies inclinadas hacia cualquier orientación, siendo mejor en pendientes menores (Izquierdo & Pacheco, 2017).

Además, según Izquierdo y Pacheco (2017), en su “Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca-Ecuador”, la configuración óptima para la ciudad de Cuenca, es el Este a 14°, con una eficiencia promedio de 13.33 %. Este estudio se realizó durante el mes de diciembre del 2016 y enero del 2017. Esto responde netamente a condiciones de nubosidad; no obstante este desbalance es muy inferior al observado en países estaciona-

les en donde la orientación es altamente influyente en la producción (Zalamea-León & García-Alvarado, 2018).

SOMBRAS

En módulos PV el sombreado debe ser evitado. El sombreado parcial del módulo es suficiente para dar lugar a una significativa disminución en el rendimiento, ya que cada celda está conectada en serie con las demás. Por tanto, es esencial tener en cuenta en la etapa de planificación proyectual, la posibilidad de que otros edificios, árboles u otros paneles pueden causar sombra total o parcial de la superficie PV (SUPSI/ISAAC, 2013).

Por otra parte, las zonas sombreadas de un módulo pueden llegarse a calentarse decenas de grados por encima de la temperatura media del resto de células sin sombreado, ya que en ellas las células pueden polarizarse a la inversa y la reducción de rendimiento en una de ellas resulta en que actúe como resistencia eléctrica y convertirse en disipadores de la energía que genera el resto del módulo, lo que podría dañar la célula (Martín Chivelet, 2011).

Conviene dejar un margen perimetral entre las células y el marco con la anchura suficien-

ante obstáculos para evitar este problema, o si se da el caso, incluso se pinta o serigrafían células falsas en las zonas que van a recibir las sombras, para mantener superficies con textura uniforme.

TEMPERATURA Y VENTILACIÓN

Cuando la temperatura de los módulos aumenta, se provoca una reducción de la tensión y la potencia entregada por el sistema. Se recomienda provocar una ventilación pasiva en la parte posterior del módulo que garantice su enfriamiento (figura 23). El porcentaje de pérdida de potencia puede ser de hasta el 10% cuando el módulo no está ventilado. Para la mínima pérdida de potencia, se recomienda una distancia de 15 cm entre el módulo y la fachada o cubierta; sirviendo los PVs como revestimiento (SUPSI/ISAAC, 2013).

SUCIEDAD

Se recomienda que los módulos estén accesibles para poder realizar labores de limpieza. El módulo deberá estar inclinado al menos 10% con respecto a la horizontal para el lavado con agua lluvia (Montero, 2016).

La suciedad superficial, como polvo o producto de la contaminación, no solo ocasiona la re-

ducción de la transmitancia de luz al interior del módulo, sino que además aumenta las pérdidas por reflexión para una incidencia no perpendicular (Montero, 2016). La falta de limpieza puede provocar una reducción de rendimiento de un 4 % en 17 días de acumulación de suciedad en ambientes con polución y polvo, no obstante, las placas bajo la lluvia con el panel dispuesto de forma inclinada, es suficiente para limpiar y devolver la eficiencia, manteniendo las pérdidas solo en un 1 % por suciedad (Smith et al. 2013).

CONTROL DEL FACTOR ALBEDO

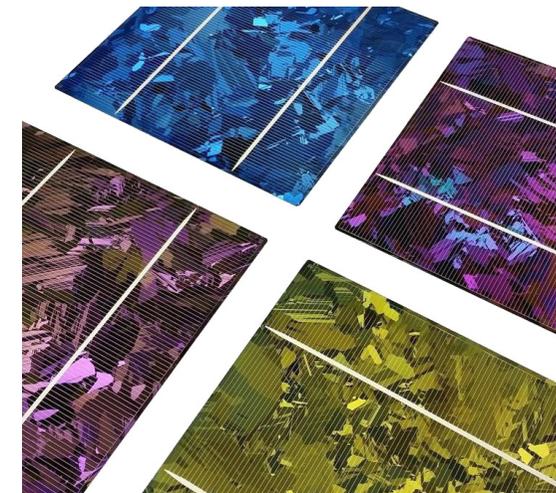
Es importante tener en cuenta las superficies que rodean el sistema PV. Su capacidad de reflexión influye en la cantidad de irradiación solar que incide en el sistema PV. Así, superficies claras tienen propiedades difusoras Lambertianas (refleja la radiación en todas las direcciones) o una superficie espejo que dirige el reflejo en una dirección particular (la radiación se refleja con un ángulo que es el complemento de la radiación de impacto) (IEA SHC Task 41, 2012).

MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de la instalación es importante, se recomienda una revisión de por lo menos una vez al año.

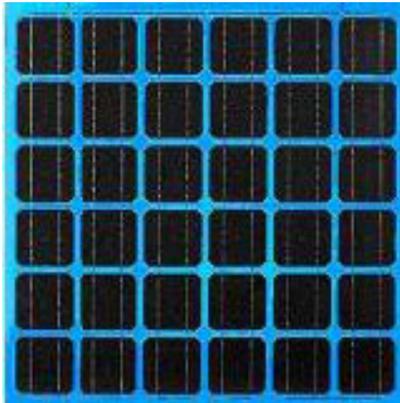


23. Placas PV sobre techumbre onduladas acondicionadas para generar ventilación.

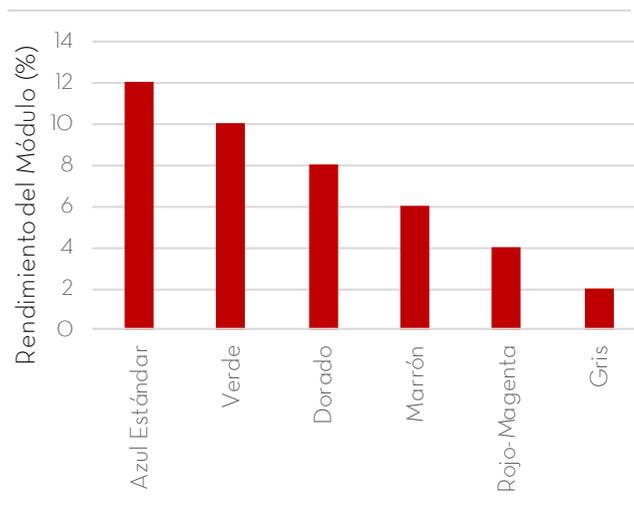


24. Variedad en el color de células PV.

3.2.2 ASPECTOS EXPRESIVOS DE LOS PV PARA EL DISEÑO



25. Color de fondo del módulo PV.



26. Rendimiento del Módulo PV según el color.

COLOR

El color azul de las células mono y policristalinas es el resultado de la cobertura anti reflectante, pero la elección de los colores es muy amplia, solo con cambiar el espesor de la cobertura. En el mercado, existen, de hecho, las células en gris, amarillo, rojo, verde, plata y rosa (figura 24). Por otra parte, el color de fondo de los módulos es blanco o negro, pero podría variar con solo cambiar el material encapsulante del panel e incluso podría ser transparente (figura 25).

A pesar de que las celdas de color producen menos energía (figura 26), se utilizan eventualmente por estética, sin embargo, se requiere mayor superficie de recolección para alcanzar una misma eficiencia respecto a células no coloreadas, incrementando costos y necesidad espacial (SUPSI/ISAAC, 2013).

FORMA, TAMAÑO Y DIMENSIONES

Las células PVs pueden tener diferentes formas y tamaños. Las células de silicio estándar son típicamente de 12.5cmx12.5cm. El tamaño de los módulos sin embargo no ha sido estandarizado. También hay algunas variaciones de las redes de contactos eléctricos que pueden dar un aspecto diferente a los módulos (figura 27) (SUPSI/ISAAC, 2013).

REFLEXIÓN ÓPTICA

La reflexión óptica del módulo depende del material de protección de la célula (vidrio/plástico). Para el fabricante es muy importante minimizar la reflexión óptica con el fin de captar la máxima radiación solar. Cada módulo PV refleja la luz de forma diferente. Algunos de ellos no reflejan la imagen, mientras que otros reflejan la forma, aún otros reflejan la imagen como un espejo (figura 28) (SUPSI/ISAAC, 2013).

TRANSPARENCIA

La posibilidad de que los módulos PVs puedan transmitir cierta cantidad de luz al interior de los edificios abre muchas posibilidades de integración en la arquitectura. Esto se consigue si la cubierta posterior del módulo está fabricada con un material transparente, normalmente encapsulando celdas en vidrio laminado. En los módulos de silicio cristalino, se consigue aumentar el grado de transparencia mediante la reducción del número de células, de forma que estas queden más separadas, filtrando más luz (figura 29 y 30). Sin embargo, esto origina la consiguiente reducción de potencia y rendimiento por unidad de superficie (Martín Chivelet, 2011).

	Cuadrado	Cortar ángulos	Ángulos redondeados	Redondo
1				
2				
3				

27. Ejemplos de formas de células PV.

1. Formas de células
2. Patrones producidos por conjuntos de células
3. Zoom entre los espacios por células

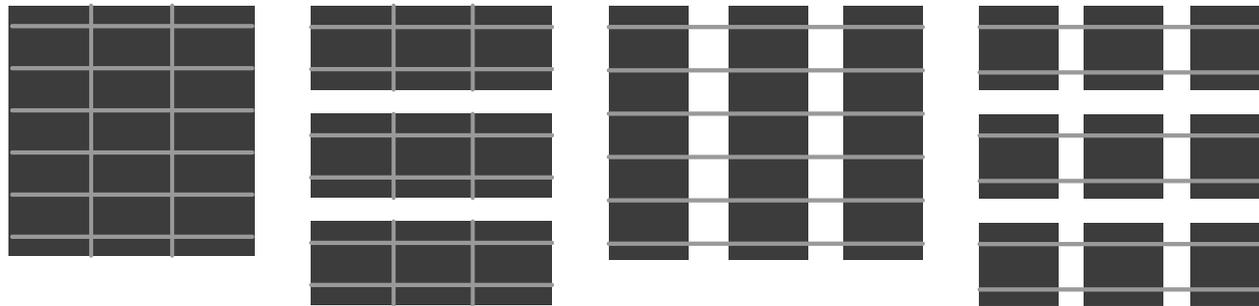
Si se buscan grados de transparencia elevados, puede ser preferible combinar módulos con un número razonable de células con laminados transparentes de doble vidrio, de modo que se comporte como filtro solar. La separación permite calibrar el ingreso de iluminación natural como estrategia pasiva. Con tecnología PV de lámina delgada pueden conseguirse superficies semitransparentes. Con la ausencia de la capa reflectante que está debajo de las células, se obtiene una transparencia homogénea similar a un vidrio de color.

FLEXIBILIDAD

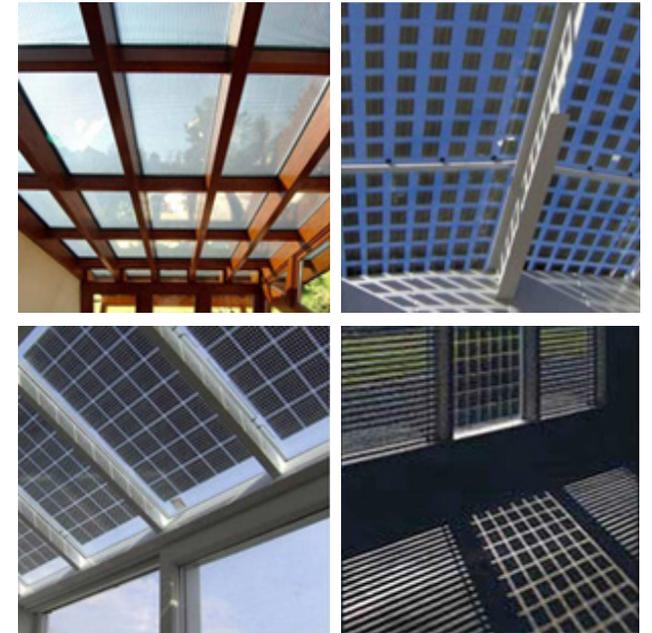
Además de los módulos tradicionales, existen en el mercado también PV que se pueden integrar en superficies curvas. Están módulos triangulares o en forma hexagonal, planos y curvos, rígidos, flexibles. La versatilidad del silicio amorfo o lámina delgada permite fabricar módulos flexible, ligeros e incluso traslúcidos y con mínima cantidad de material semiconductor. Así, se pueden obtener láminas solares para techos de forma cóncava o convexa, incluso adaptarse a pasamanos (SUPSI/ISAAC, 2013).



28. Ejemplos de reflexión óptica de los módulos PV.



29. Disposición de las células PV para lograr transparencia.



30. Ejemplos de transparencia y filtro solar.

3.2.3 ASPECTOS FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS DE LOS PV.

CRITERIO DE MULTIFUNCIONALIDAD

La multifuncionalidad o doble función del colector es un requisito previo para la integridad del edificio. Si se desmonta el módulo PV integrado tiene que ser sustituido por un componente de construcción adecuada capaz de satisfacer las mismas exigencias (acústicas, térmicas, de estanqueidad de agua, resistencia mecánica, etc.). El colector solar no solo tiene que cumplir su función de generador de energía sino también, de material de recubrimiento eficiente ante toda prestación (IEA SHC Task 41, 2012).

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

La integración de los módulos solares en el sistema de envolventes debe ser estudiada con mucho cuidado, para asegurar las funciones de envolvente estándar y la durabilidad del conjunto. Además de la compatibilidad funcional, es importante garantizar que el nuevo sistema multifuncional de envolvente cumpla con todos los estándares de construcción (IEA SHC Task 41, 2012):

- La carga del colector debe ser correctamente transferida a la estructura portante mediante la fijación adecuada;
- El colector debe soportar el fuego y el desgaste del tiempo;

- Debe resistir la carga del viento y el impacto, y debe ser seguro en caso de daño;
- Los riesgos de robo y/o daños relacionados con el vandalismo deben evaluarse y adoptar las medidas apropiadas;
- La fijación debe evitar los puentes térmicos y el valor U global de la pared no debe ser afectado negativamente.

La integración de sistemas solares implica otros problemas específicos de la tecnología solar, es decir, la presencia de un sistema hidráulico (para ST) o cableado eléctrico (para PV) y la alta temperatura de algunos módulos.

CRITERIOS FORMALES (ESTÉTICOS)

Todas las características del sistema que afectan a la apariencia del edificio (es decir, las características formales del sistema) deben ser coherentes con el diseño general del edificio. De acuerdo a Kaan y Reijenga (2004), describe criterios para colectores solares PV, no obstante, estos mismos criterios son posteriormente adoptados y mencionados para recolección PV (IEA SHC Task 41, 2012):



- La posición y la dimensión del módulo colector deben ser coherentes con la composición arquitectónica de todo el edificio (no sólo dentro de la fachada relacionada).
 - El material visible del colector, la textura y el color de las superficies deben ser compatibles con los otros materiales, colores y texturas con los que están interactuando.
 - El edificio debe ser atractivo y el sistema no debe mejorar notablemente el diseño. Esta es una cuestión muy subjetiva, pero no hay duda de que algunos edificios se consideran más agradables que otros.
 - El tamaño y la forma del módulo deben ser compatibles con la red de composición del edificio y con las diferentes dimensiones de los otros elementos de fachada.
 - El sistema PV debe guardar relación con el contexto edificado. La apariencia global del edificio resulta concordante con el vecindario.
 - Los tipos de unión deben considerarse cuidadosamente al elegir el producto, ya que los tipos de juntas subrayan de forma diferente la rejilla modular del sistema en relación con el edificio.
- El sistema no tiene que ser tan obvio. En casos de renovación del edificio, el resultado debe procurar como si el sistema PV estaba allí antes de que el edificio fuera renovado.

Las características formales del sistema dependen fuertemente de los componentes básicos de los módulos solares, con sus formas y materiales específicos. Cuanta más flexibilidad se pueda ofrecer dentro de estas formas y materiales impuestos, más posibilidades hay de una integración exitosa.

3.3 INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE COLECTORES SOLARES.



31. Colector PV colocados en cubierta



32. Colectores PV integrados arquitectónicamente.

Los colectores solares son elementos relativamente recientes en edificios, habitualmente colocados en la cubierta, totalmente ajenos al concepto de diseño del arquitecto (figura 31). Al disponer colectores superpuestos al revestimiento, se monta el sistema PV o ST, sobre una envolvente preexistente. Actualmente se han desarrollado productos para instalarse en edificios, pero aún insuficientes, la mayoría de arquitectos desconocen la tecnología y las herramientas para cuantificar e ilustrar la influencia de las aplicaciones solares durante el diseño. A veces, el resultado va en contraposición respecto a la calidad arquitectónica, limitando la aceptación social de los PVs en edificios.

Ante esto, la IEA fomenta el uso de las tecnologías solares, propone guías, criterios de diseño y herramientas para el diseño solar PV y ST, definiendo la integración arquitectónica como el resultado de una intención controlada y coherente de los colectores solares desde todos los puntos de vista, funcional, constructivo y formal (estético). Es decir, cuando el sistema de captación solar está integrado en la envolvente debe asumir correctamente las funciones y las limitaciones asociadas de los elementos de envolvente que está sustituyendo (calidad constructiva / funcional) preservando la calidad de diseño global del edificio

(formal /calidad) (figura 32). Si no se conserva la calidad del diseño (el sistema sólo está integrado constructivamente / funcionalmente en la piel del edificio sin un control formal), sólo podemos denominarlo en superposición constructiva (IEA SHC Task 41, 2012).

3.3.1 DETERMINACIÓN DE INTEGRIDAD

En relación a la disposición de colectores solares en la edificación existen diferentes posturas, por ejemplo, la Cámara Chilena de la Construcción considera estas situaciones para admitir reducciones de rendimiento y conservar el subsidio de apoyo a la instalación de colectores solares (figura 33) (CDT, 2007).

Colectores simplemente colocados.

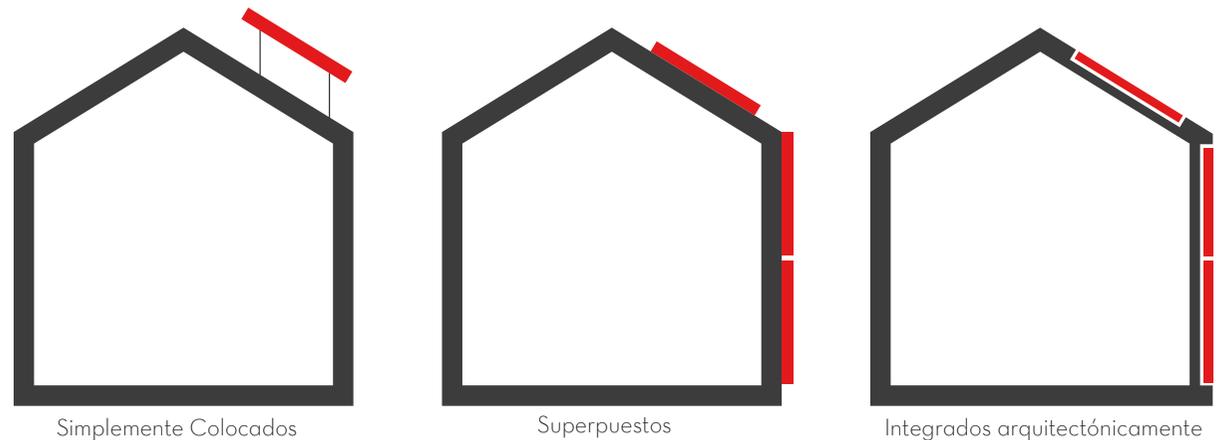
Cuando se instalan elementos colectores sin relación formal, material o de color con la edificación, a veces en contraposición o de forma no paralela a la envolvente por lo general son el resultado de aprovechar una máxima irradiación y/o para evitar sombreamiento. Desde el punto de vista arquitectónico sería la opción menos deseable ya que el colector colocado genera un impacto visual en la apariencia del edificio.

Colectores Superpuestos.

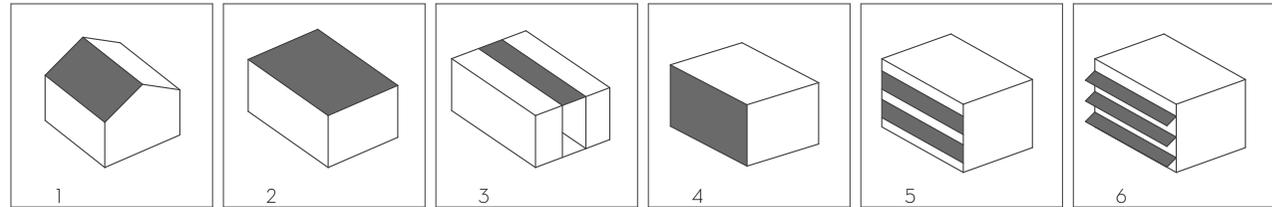
Cuando las placas guardan un paralelismo con uno de los planos de la edificación (techumbre o fachada). A veces en relación con la composición y ritmos del edificio, es decir centrado o en un eje formal, con alguna relación en color y materialidad. El colector es independiente constructivamente respecto a la envolvente, por lo que existe una doble capa.

Colectores con integración arquitectónica.

Cuando remplazan recubrimientos o elementos funcionales arquitectónicos de una edificación, cumpliendo propiedades que cualquier material de exteriores debe proporcionar; como estanqueidad y resistencia mecánica, o funcionar adecuadamente como balaustrada, filtro solar, ventanal, etc. Para ello los colectores deben contemplarse dentro de la geometría y composición estética. Debe respetar modulación, relación con juntas materiales y reglas compositivas, en lo posible contribuyendo positivamente a la expresión arquitectónica.



33. Esquemas de colectores colocados en edificación.



34. Posibilidades de Integración arquitectónica

3.3.2 POSIBILIDADES DE INTEGRACIÓN MORFOLÓGICA DE COLECTORES SOLARES EN EDIFICACIÓN

Entre los productos comerciales para integración arquitectónica, la Agencia Internacional de la Energía (IEA) definen seis posibilidades morfológicas para integrarse arquitectónicamente (figura 34) (IEA SHC Task 41, 2012):

1. Captadores para integración en techumbres inclinadas.
2. Sistemas de placas o elementos para disponerse como cubierta horizontal para techumbres planas o aproximadamente planas.
3. Filtros solares de techumbre con la presencia de colectores como elementos de filtración de luz. Este efecto también puede provocarse en fachada.
4. Recubrimiento de fachada opaco como absorbentes solares para captación ST o PV.
5. Ventanales PV o filtros solares para ventanas configurados por colectores PV o ST.
6. Elementos funcionales compositivos de fachadas como balaustradas o sombrillas colectoras, los cuales pueden ser ST o PV.

Debido a que este trabajo se centra en edificios industriales procederemos a explicar las posibilidades de integración en estos, siendo cubiertas, fachadas y elementos de protección.

INTEGRACIÓN EN CUBIERTAS

Las cubiertas ofrecen el mayor potencial de integración PV de los edificios en los entornos urbanos, en términos de producción energética, por ser las superficies mejor situadas y de mayor extensión, libres de obstáculos y restricciones. Además, en zonas ecuatoriales el potencial es sustancialmente mayor en cubiertas, en cambio, en regiones cercanas a los polos, ganan potencial las fachadas. Dependiendo del tipo de edificación, la integración se puede realizar en las cubiertas inclinadas o en las horizontales, sean o no transitables (Martín Chivelet, 2011).

Cubiertas inclinadas

Conviene que los módulos se sitúen, en lo posible, paralelos a alguna de las aguas de la cubierta. Sin embargo, la verdadera integración consiste en sustituir los elementos convencionales de la techumbre por colectores solares. De este modo ya no es necesario tener en cuenta el área de sombra en la siguiente fila de módulos, como ocurre con la superposición (figura 35 y 36). En el caso de módulos PVs pueden tener diversos tipos de estructuras, desde simples laminados, hasta paneles de cerramiento tipo sándwich o con forma y características de tejas (Martín Chivelet, 2011). También puede



35. Integración de PV en cubierta inclinada.



36. Integración de PV en cubierta inclinada.



37. Integración en cubierta plana de módulos ST.



38. Sistema de fijación en cubierta plana de módulos PV.

resultar interesante utilizar módulos de silicio amorfo en edificios, por su bajo peso y facilidad de montaje, aunque se trata de una tecnología menos eficiente.

El sistema de anclaje de paneles superpuestos más utilizado en cubiertas inclinadas de edificios industriales es mediante montantes de aluminio atornillados al material de cubierta (chapa ondulada o trapezoidal) que sirven para sujetar los módulos PVs ya sea por perno de sujeción o especiales tipo click. Este sistema es el más rápido y fácil de instalar, además garantiza la impermeabilidad del techo y los colectores pueden disponerse horizontal o verticalmente.

Cubiertas planas.

La incorporación de colectores solares, ya sea PV o ST, sobre una cubierta plana es la forma de integración más habitual. Mediante una estructura de soporte, se calibran y disponen colectores en inclinación y orientación adecuada para conseguir la máxima producción energética, normalmente retranqueados del perímetro del edificio, haciéndolos menos perceptibles desde la calle y reduciendo la afectación arquitectónica (figura 37 y 38).

Pero esto tiene otro valor añadido; al colocar así los paneles, estos pueden estar muy juntos y dar una sombra continua a toda la cubierta, lo que conlleva a reducir el calor y contribuyen a mitigar el sobrecalentamiento. Esta estrategia consigue convertir una cubierta convencional en una cubierta ventilada. No obstante, debemos cuestionarnos sobre el escaso grado de integración alcanzado, en la mayoría de los casos, los paneles se superponen a una cubierta ya existente y, por tanto, no sustituyen a ningún otro elemento constructivo.

En general, hay dos tipos de sistemas de fijación para cubiertas planas, mediante perforación del material de la cubierta, o mediante lastres, si las cargas de viento sobre las estructuras lo permiten. Los cables deben ir protegidos, en canaletas o huecos y debe dejarse algo de espacio entre filas, tanto para el mantenimiento, como para evitar en lo posible el sombreado de unas sobre otras, según sea el caso (Martín Chivelet, 2011).

INTEGRACIÓN EN FACHADAS.

Las fachadas de los edificios presentan también posibilidades de integración de colectores solares. Destacan las fachadas ventiladas, donde los módulos PVs sustituyen los elemen-

tos habituales de las fachadas de doble capa, colocados delante de la pared opaca y montadas sobre una subestructura, generando una cámara de aire para la ventilación (Montero, 2016).

Este sistema de fachadas es muy adecuado para la integración PV, porque la cámara posterior de los módulos PVs, al estar ventilada reduce las temperaturas de trabajo de los paneles y por tanto ayuda al buen rendimiento del sistema, además, el efecto de convección reduce las condensaciones, aportando estanqueidad frente a lluvia y viento, manteniendo seco el aislamiento y la hoja interior (figura 39 y 40) (Iglesias Placed, 2013).

La tecnología de las fachadas ventiladas ya ha desarrollado todos los elementos necesarios para incorporar estos sistemas, sin más que sustituir los paneles de vidrio, aluminio o cerámica por paneles fotovoltaicos. El cableado puede canalizarse a lo largo de los perfiles verticales que soportan los paneles y atravesar la pared interior. Las dimensiones de las fachadas pueden ajustarse a las medidas estándares de los módulos PVs, con lo que se reducen costos (Montero, 2016).

El mantenimiento, las operaciones de limpieza

y sustitución son sencillas. Si todos los paneles están accesibles desde el exterior, mediante un andamio, grúa, o plataforma elevadora, los paneles se pueden desmontar fácilmente y reemplazarlos por otros.

ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.

La incorporación de módulos PVs en parasoles o lamas exteriores, montados por fuera de la fachada, para dar sombra al edificio, es la opción de integración más común. Los módulos PVs en lamas, pueden ser monocristalino, policristalino y de lámina delgada. Las lamas pueden ser ajustables y orientarse al sol en busca de la máxima sombra y el máximo rendimiento simultáneamente (figura 41 y 42) (Iglesias Placed, 2013).

Existe la variante donde la misma fachada PV actúa como generador de electricidad y elemento de protección solar ya que los módulos pueden ser opacos o permitir cierta transmisión de luz (figura 43). Algo que hay que tener en cuenta en el diseño de los parasoles o de las lamas PVs, es la posible proyección de sombras de unos elementos sobre otros. Es importante evitar que se produzcan estas sombras (Martín Chivelet, 2011).



39. Integración en fachada.



40. Integración en fachada.



41. Celosías PV.



42. Parasol PV de lámina delgada.



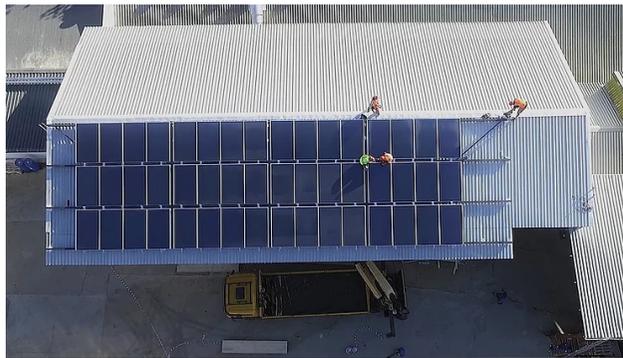
43. El edificio GDF Seuz, en Francia, utiliza una sobre fachada que tiene la función de protección solar y a la vez genera energía PV.

3.4 CASOS DE ESTUDIO. EDIFICIOS INDUSTRIALES.

Proyectos donde la tecnología solar tanto PV como ST, estén integrados arquitectónicamente a edificios industriales no están difundidos extensivamente, la mayoría de industrias que utilizan calor o electricidad, superponen colectores en las cubiertas, desplegados sobre el recubrimiento original, sin contemplar más aspectos que el de la captación de irradiación. Eventualmente se colocan huertos solares en terrenos cercanos al edificio, ocupando espacio adicional.

PROYECTOS CON ENERGÍA ST

El calor solar para procesos industriales es ampliamente explotado, pero no está a fin con nuestro caso de estudio por lo que solo expondremos brevemente tres ejemplos:



44. Cape Brewing Cia.



45. Zehnder Group Produktion.



46. ISA Tan Tec.

Cape Brewing Compny (figura 44)	
Ubicación	Sudáfrica
Tipo de Industria	Cervecería
Tecnología	Colectores de placa vidriada
Dimensión	120m ²
Abastecimiento	29,6% lt de la demanda parafina
Ahorro	19,386 lt de parafina
Fuente	Solarpayback,2017

Zehnder Group Produktion (figura 45)	
Ubicación	Suiza
Tipo de Industria	Aparatos de calefacción
Tecnología	Tubos de vacío
Dimensión	394m ²
Abastecimiento	50% de calor en taller de pintura
Ahorro	16800kg de GLP
Fuente	Solarpayback,2017

ISA Tan Tec (figura 46)	
Ubicación	Vietnam
Tipo de Industria	Curtidería
Tecnología	Tubos de vacío
Dimensión	1050m ²
Abastecimiento	30% de energía en proceso recurtido 15% de la energía total
Ahorro	120,000 kg de GLP
Fuente	Solarpayback,2017



47. Grupo Miguel.

PROYECTOS CON ENERGÍA PV

En el caso de PV en industria, están destinados a contribuir con la demanda eléctrica, que normalmente en el uso industrial es muy significativo respecto a otras edificaciones. Lo más habitual es la superposición de los paneles en las cubiertas inclinadas. Los siguientes casos expuestos a continuación, son proyectos ya construidos, en los que no se consideró la captación solar PV desde la planificación, por lo que después se monta una planta solar en su cubierta con resultados relativos desde la perspectiva arquitectónica. Se toma en cuenta sobre todo aspectos funcionales y constructivos. Se debe mencionar que la ubicación, orientación e inclinación de los paneles PVs es diferente para cada industria y depende de la latitud en la que se sitúan.

En El Salvador, el Grupo Miguel (Industria textil) tiene una planta de 3.000 paneles PVs instalados sobre los tres edificios de su empresa (figura 47). El proyecto, tomó alrededor de cuatro meses en ser completado, tiene una potencia de 1 MW, un tercio de lo que el complejo industrial consume. Se prevé que la planta tenga una capacidad de generar más de 1.6 millones de KWh al año; energía que será inyectada directamente a la red interna de Grupo Miguel. Dentro de los beneficios indirectos estimados, se encuentra la reducción de entre 3°C y 4°C la temperatura en los galpones. La

inversión fue de aproximadamente \$1.3 millones por cada MW instalado (Linares, 2017).

Como consecuencia de la alta conveniencia económica y por la posibilidad de alcanzar en cierta medida independencia energética Embotelladora Sula (Emsula. S.A) en Honduras (figura 48), superpone PVs a las cubiertas inclinadas, ocupando 34.000m², que producen 3MW que abastece el 62% del consumo entre las 9:00am-3:00pm. Además de la reducción de emisiones de CO₂ en 31.500 toneladas/año, y la liberación de importar miles de barriles de petróleo. La instalación, al provocar el efecto cubierta ventilada, reduce la temperatura interna de las instalaciones, genera ahorros colaterales en el sistema de aire acondicionado, así como una mejoría en la calidad ambiental para los trabajadores (Alcolado, 2015).

En España, Cogal Industria (figura 49) realizó una instalación de energía solar PV para autoconsumo industrial de 180 KWp con un total de 720 módulos PVs. Gracias a esta instalación, se genera anualmente 270.178 KWh, que ha permitido reducir el consumo eléctrico y evitar la emisión a la atmósfera de más de 100 toneladas de CO₂ anuales. El plazo de amortización de esta obra se estima en 5 años. El equivalente en árboles plantados a esta obra es de 10.051 y el equivalente en toneladas de petróleo ahorradas es de 23,23T (EDFsolar, 2016).



48. Embotelladora Sula.



49. Cogal Industria.



50. Company Lissag AG.



51. Mutina Modena.

Company Lissag AG, en Buesserach, Suiza, se especializa en la construcción de tuberías de agua y gas. Tiene instalada una planta solar en la cubierta inclinada del edificio principal, con un poder de 98.67 KWp (figura 50). Produce 89.790 KWh/año, reduciendo las emisiones de CO₂ hasta 45 toneladas al año (TRITEC, 2017).

Proyecto Mutina Modena desarrollado en Italia, tiene altos niveles de irradiación y la tarifa de feed-in tariff ,ofrece retornos interesantes para los inversores. La instalación en techo de 950m² está conectado a la red desde julio de 2011 (figura 51). El sistema está montado en garajes que fueron construidos en 2007. Los tres galpones están equipados con módulos monocristalinos, que producen 1.083.410 KWh/año, y reducen las emisiones de CO₂ en 909 toneladas al año (TRITEC, 2017).

Innovent Technologies AG, en Wittnau, Suiza, es un compañía que fabrica y asiste en el diseño de componentes y subconjuntos de manipulación de sustratos para semiconductores, paneles planos, LED y fabricantes de equipos solares. Superpone en su cubierta paneles PVs, con un poder de 777,92 KWp, y un rendimiento energético 700.128 KWh/año, reduciendo las emisiones de CO₂ en 350,1 toneladas al año. Está conectado a la red eléctrica (figura 52) (TRITEC, 2017).

En España, sobre las cubiertas del Polígono industrial Carlos I, se instalaron 8661m² de módulos PVs (figura 53). La energía anual producida por la planta será de 1.711.200 KWh/año, lo equivalente a la emisión de 791 toneladas de CO₂ y a 169.560 litros de petróleo ahorrados al año. Con esto consigue el 37.3% de energía renovable para la demanda en la zona industrial (Construnario, 2011).

La empresa Theo Rietschie AGEI en Arlesheim, Suiza, es una empresa de bebidas que instaló un sistema PV desplegado en el techo. Tiene un rendimiento energético anual de 243.648 KWh, lo que corresponde a un ahorro de CO₂ de 121,8 toneladas (figura 54) (TRITEC, 2017).

En Moers, Duisburg, Alemania, Riedel Recycling, una industria de preparación y almacenamiento de materiales de construcción, utiliza más de 11.000 módulos PVs de película delgada, fabricados por la industria First Solar, con una capacidad máxima de 837 KWp, ha adoptado este sistema para ser el más amplio en Alemania. Con la película delgada en un techo inclinado de 9.500m², produce 750.00KWh/año (figura 55) (SUPSI/ISAAC, 2013).



52. Innovent Technologies AG.



54. Theo Rietschie AGEI.



53. Polígono Industrial Carlos I.



55. Riedel Recycling.

3.5 CASOS DE ESTUDIO. EDIFICIOS NO INDUSTRIALES



56. Gimnasio Dreifeldsporthalle

Existen otros casos, que, si bien no son industria, incorporan sistemas activos a gran escala en techumbres de formato amplio. Polideportivos, coliseos, edificios residenciales, edificios de oficinas, integran arquitectónicamente colectores solares, para cubrir parte de la demanda energética; por lo que es pertinente mencionar algunos casos como referentes alternativos para nuestro trabajo. La parte formal es un aspecto considerado, por la implicancia estética y connotación de estos edificios, frente a las fábricas. La energía solar se considera desde la planificación del edificio, en etapas tempranas de diseño, por lo que, la modulación, dimensiones, color, transparencias, se seleccionan por consideraciones aspectuales de los colectores solares. El diseño de la envolvente PV y orientación de los edificios analizados es para latitud norte.

EDIFICIOS CON CAPTADORES ST

El Dreifeldsporthalle en Alemania (figura 56), es un gimnasio de 3 campos. Posee una planta ST que funciona como un generador de calefacción para las instalaciones deportivas locales. La orientación de la sala es hacia el sur para optimizar la irradiación directa incidente. Las superficies de los cobertizos orientados al sur están cubiertas con módulos ST de placa plana, con una superficie total de 810 m². Los módulos solares están inclinados 35° para su

óptimo funcionamiento y producen 380.000 KWh al año, ahorrando 250 toneladas de CO₂ al año. El aprovechamiento de energía solar se utiliza para calefacción, ACS y para la calefacción de piscinas. En verano suministra el 80% de la demanda térmica de la piscina exterior. Cuando hay excedentes en la generación de energía se alimenta a una red de calefacción local y se abastecen instalaciones deportivas circundantes. Otras características especiales incluyen la ventilación natural utilizando un sistema de flujo transversal vertical sobre las alas de ventilación integradas en la pared que están situadas en las paredes este y oeste y el uso de la luz del día a través de los cobertizos (dbn-parc Architekten, 2011).

EDIFICIOS CON COLECTORES PV

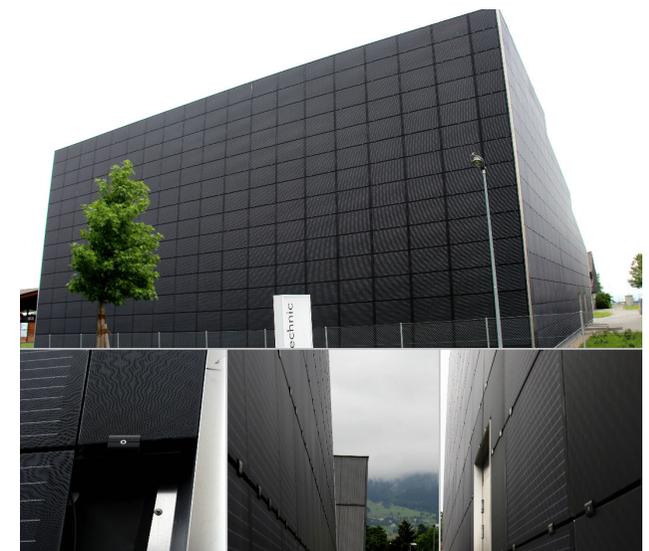
La Estación de bombeo, en Rietli, Suiza se finalizó en 2015 y fue una renovación del edificio (figura 57). Los 476 módulos de PVs (950m²), se ubican en las fachadas sureste y suroeste produciendo 130.7KWp, capaz de suministrar electricidad a 43 viviendas. El uso de elementos dummies (no colectores, pero con apariencia de ellos) negros permite encajar perfectamente las fachadas del edificio y realizar una piel oscura homogénea (SUPSI/ISAAC, 2013).

Techo solar Hallenbad-Buchensaal Speicher (figura 58). El edificio fue construido en 1977 para

albergar una piscina cubierta y una sala de libros. En 2014-2015 el edificio fue renovado y el conjunto de dos techos ha sido completamente reemplazado con un techo de PV. El nuevo techo solar está provisto de guardabarros con 1.100m² (692 módulos) de módulos PVs de células monocristalinas, producen 155.000 KWh/año, ahorrando 100 toneladas de CO₂ al año (SUPSI/ISAAC, 2013).

El centro deportivo, “Tres en Uno” en Suiza (figura 59), está compuesto por 3 salas yuxtapuestas pero independientes. La dimensión compacta, la envolvente energéticamente eficiente y la ventilación controlada han permitido alcanzar un muy bajo consumo energético. La planta PV de 1.200m² de los tres tejados, instalado en el lado sur con una inclinación de 15°, está completamente cubierto por módulos PV multicristalino. Produce 130.500 KWh/año para una potencia de 145 KW. Esta planta PV cubre el 45% de la demanda total de energía de la sala deportiva (SUPSI/ISAAC, 2013).

Gigafactory de Tesla será la mayor instalación de Net Zero Energy del mundo (figura 60). Producirá alrededor de 70 MWh/año, y será siete veces más grande que cualquier otra instalación solar que exista. En otras palabras, generará toda la energía que necesita para operar, utilizando paneles solares y nuevas tecnologías.



57. Estación de bombeo Rietli.



58. Techo solar Hallenbad-Buchensaal Speicher.



59. Centro Deportivo "Tres en Uno".



60. Gigafactory Tesla.



61. Apple Park.

La idea de la compañía es cubrir todas las superficies de la fábrica, así como todas las colinas circundantes, con paneles solares. La fábrica no tendrá ni siquiera un solo gasoducto que atraviese sus instalaciones. Esto significa que el edificio no generaría CO₂ por demandas energéticas (Luleva, 2015).

Apple Park (figura 61 y 62), las nuevas instalaciones de Apple en Cupertino, California, en construcción, alojarán sus nuevas oficinas centrales. Será alimentado en un 100% por energías renovables, sin dejar de estar conectado a la red eléctrica. El conjunto solar en el techo del complejo proporcionará el 75% (17 MW) de la energía requerida al día y la parte restante provendrá de una granja solar de 130 MW/día construido por el Condado de Monterey y First Solar. Otra característica importante es la ventilación natural del edificio, con lo se estima que no se requeriría de sistemas de ambientación mecánicos durante 9 meses del año (M., Han, & Bailey, 2016).

Además, utiliza paneles de vidrio que están especializados y proporcionan eficiencia energética al edificio, y se instalan 1.616 marquesinas de cristal blanco, que proporcionan sombra y apoyo a los paneles solares, mientras que los paneles de vidrio macizo y claraboyas proporcionan luz natural y estética (M., Han, & Bailey, 2016).

Un ejemplo de la combinación tecnologías ST y PV se presenta en una casa unifamiliar en Tyrol, Austria (figura 63). En la cubierta con inclinación de 45° se integran colectores ST y PV, y en la fachada a 70° se colocan colectores ST. Con un área de 55m^2 de colectores obtiene un rendimiento solar de $301\text{ kWh/m}^2/\text{año}$, y más 80% de la demanda de energía se abastece gracias al sol (IEA-SHC, n.d.).

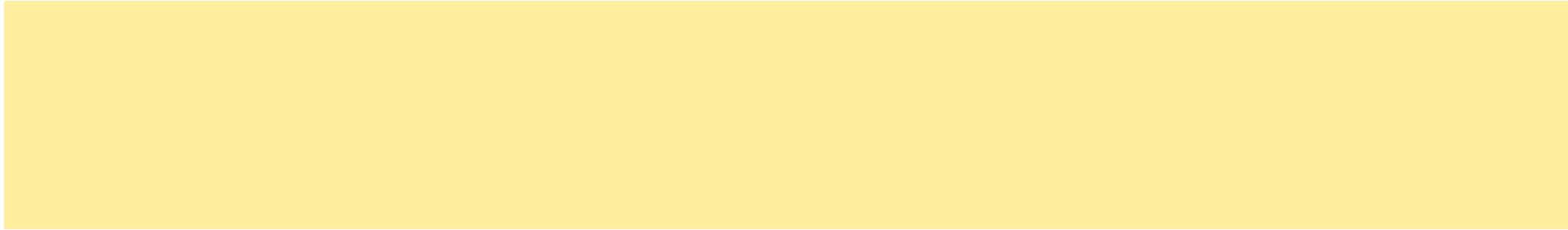
El rápido desarrollo de la tecnología ambiental hará muy pronto obsoletos los métodos contemporáneos de diseño para edificios respetuosos con el medio ambiente. Se están implementando sistemas energéticos inteligentes para mejorar la energía operacional. La mayoría de los edificios, sin embargo, todavía sólo utilizan una pequeña proporción de su potencial integrado en el diseño. Los edificios proyectados para el futuro se planificarán para ser NET Zero (generan la misma energía que demanda) o incluso Plus Energy (edificios que producen más energía de la que consumen) (Disch, 2010), para ello la implementación de tecnologías solares será un requisito a considerar en el futuro diseño de edificios. La integración de los sistemas PV y ST en el edificio como envolvente multifuncional de edificios no sólo producirá energía renovable para las necesidades energéticas, sino que también agregará valor al edificio siendo enriquecedor de la expresión arquitectónica y denotando en su expresión preocupación y cuidado ambiental.



62. Apple Park en construcción.



63. Casa Unifamiliar en Tyrol, Austria.





CAPITULO 04

EDIFICIOS INDUSTRIALES GRAIMAN: SITUACIÓN ACTUAL Y DISEÑO DE ENVOLVENTE

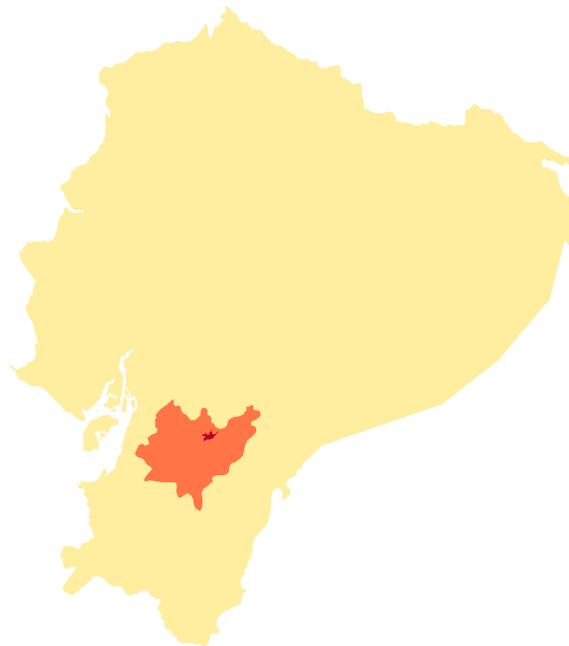
4.1 LUGAR DE ESTUDIO: PARQUE INDUSTRIAL DE CUENCA

La investigación se desarrolla en la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, ubicada al sur del Ecuador (figura 64). La ciudad está atravesada por la cordillera de los Andes y se sitúa entre 2.350 a 2.550 metros sobre el nivel del mar. El casco urbano tiene una extensión de 72 Km² y dentro de esta se ubica el Parque Industrial, de 77,5 hectáreas, localizado al norte de la ciudad (figura 65). Allí hay 112 lotes con industrias de muebles, línea blanca, cartones, embutidos, gaseosas, neumáticos, cerámica, etc (figura 66) (Astudillo, 2014).

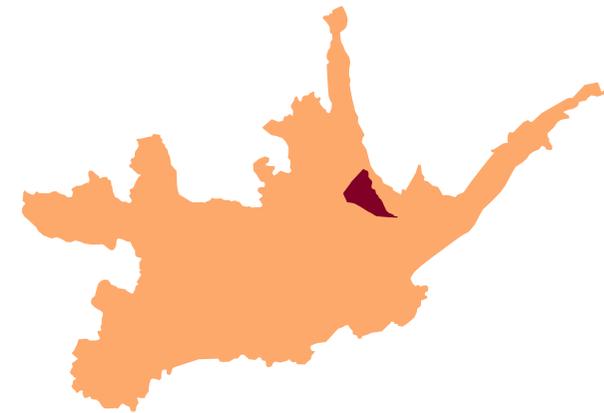
El parque industrial está saturado y los empresarios deben recurrir a varias estrategias para ampliar sus áreas productivas y bodegas. Los edificios ocupan los espacios destinados a parqueaderos y áreas verdes, expandiéndose los galpones horizontalmente e inclusive verticalmente. La saturación de construcciones y viales es crítica en la actualidad (Astudillo, 2014).

En la actualidad, la Empresa Municipal de Desarrollo Económico y el Ministerio de Industrias y Productividad, impulsan el Ecoparque de Chayllallacu, que tiene una superficie de 72.44 hectáreas y está ubicado a 7.5 km del límite urbano de la ciudad, a 107 y 137 kilómetros de Puerto Bolívar en El Oro y el Puerto de Guayaquil, respectivamente (MIPRO, 2017).

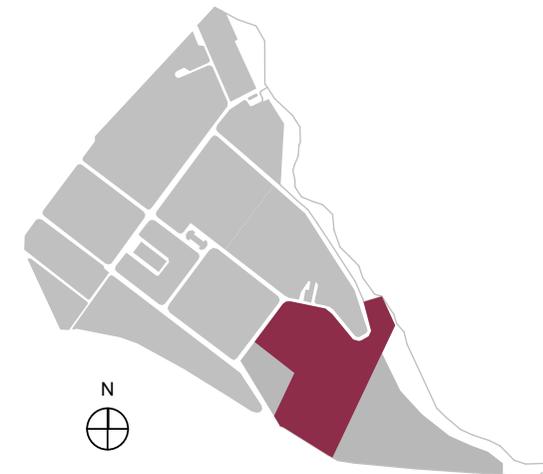
Esto se convierte en una gran oportunidad para implementar un parque industrial sostenible y energéticamente eficiente desde la concepción; minimizando los impactos ambientales e implementando el uso de energías limpias.



64. Ubicación de la provincia del Azuay



65. Ubicación del Parque Industrial en Cuenca



66. Ubicación del recinto industrial Graitman



67. Vista aérea del Parque Industrial. Al fondo industrias Graiman

4.2 OBJETO DE ESTUDIO: EDIFICIOS INDUSTRIALES GRAIMAN

El grupo industrial Graiman dentro de su complejo edificado, tiene empresas como Vanderbilt, Industrias Químicas, Vías del Austro, Graiman, Tugalt, Hormicroto y ocupa un área aproximada de 97.500m² (figura 68 y 69). Se toma como caso de estudio la industria cerámica Graiman, la que produce y comercializa cerámica plana y porcelanato. Con respecto a todo el recinto, la industria cerámica ocupa con sus edificios cerca de 45.000m².

Los edificios del complejo industrial se han construido según el crecimiento y necesidades de la industria, por lo que se puede observar una saturación y desorden. En sus edificios, cerámicas Graiman alberga las actividades de producción y almacenamiento (figura 70). En el área de producción se desarrollan procesos como, preparación y pesado de las materias primas, molienda, atomización, prensado, secado, esmaltado o decorado, cocción y por último, clasificado y empacado (figura 71, 72, 73, 74).

Todos los edificios son de una sola planta y las cubiertas de dos faldones con pendientes variables entre 22% a 32%. El material de construcción es el acero para la estructura, placa galvanizada trapezoidal para el recubrimiento y hormigón para el piso (figura 75 y 76). Las dimensiones de los galpones son variables, y dependen de los equipos y máquinas que albergan.



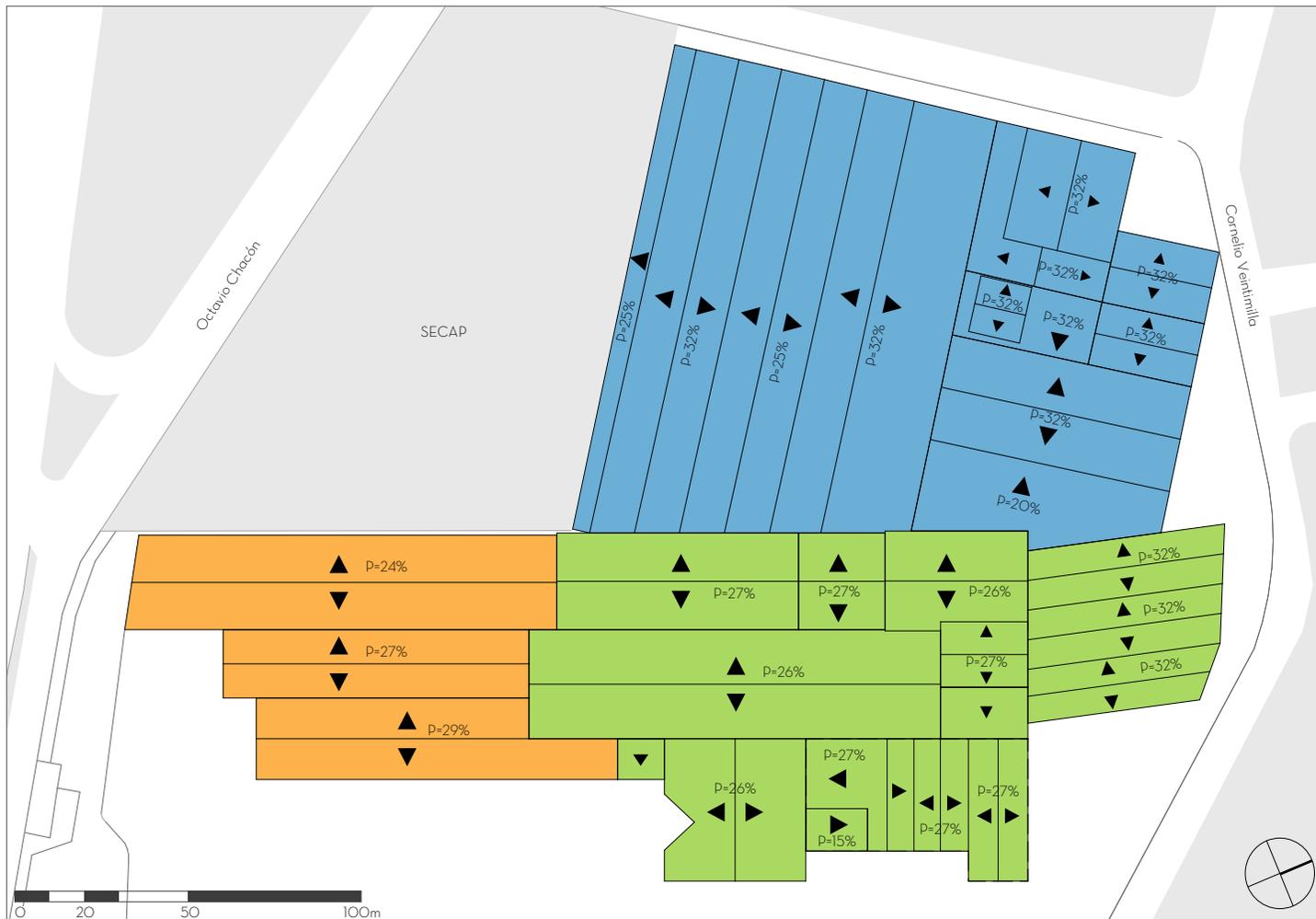
68. Vista aérea del complejo industrial Graiman.



COMPLEJO INDUSTRIAL GRAIMAN

- Vías del Austro
- Casilleros / Comedor
- Tugalt
- Cerámicas Graitman
- Bodegas
- Vanderbilt
- Administración
- Hormicreto

69. Emplazamiento_ Complejo Industrial Graitman



SECTORES DE CERÁMICAS GRAIMAN

- Porcelanato
- Almacenamiento/bodega
- Baldosa

70. Planta de cubiertas_Cerámicas Graitman.



71. Cerámicas Graiman. Área de inspección del producto.



73. Cerámicas Graiman. Área de cocción.



75. Material de construcción de los galpones Graiman.



72. Cerámicas Graiman. Área de empaquetado.

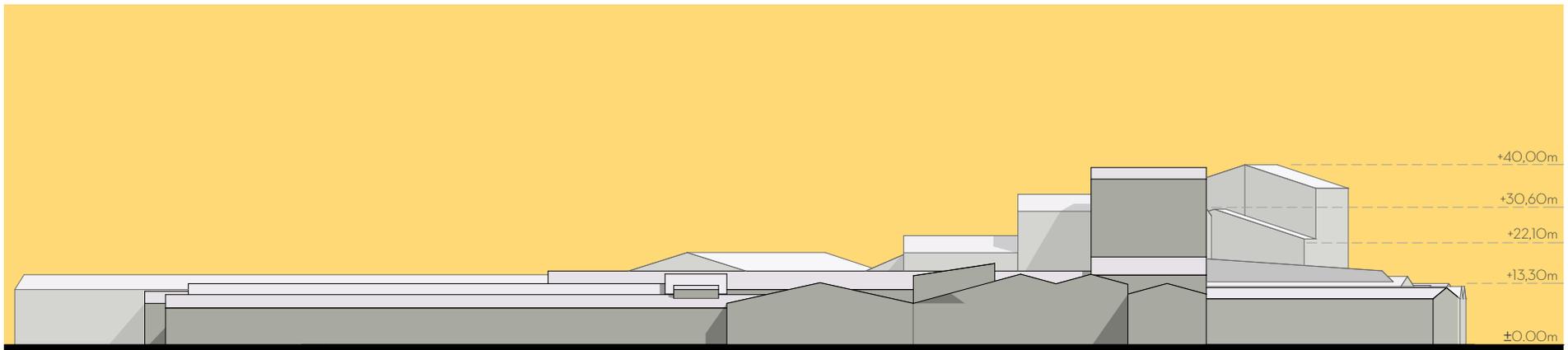


74. Cerámicas Graiman. Área de molienda.



76. Material de construcción de los galpones Graiman.

ALZADOS DE EDIFICIOS DE CERÁMICAS GRAIMAN



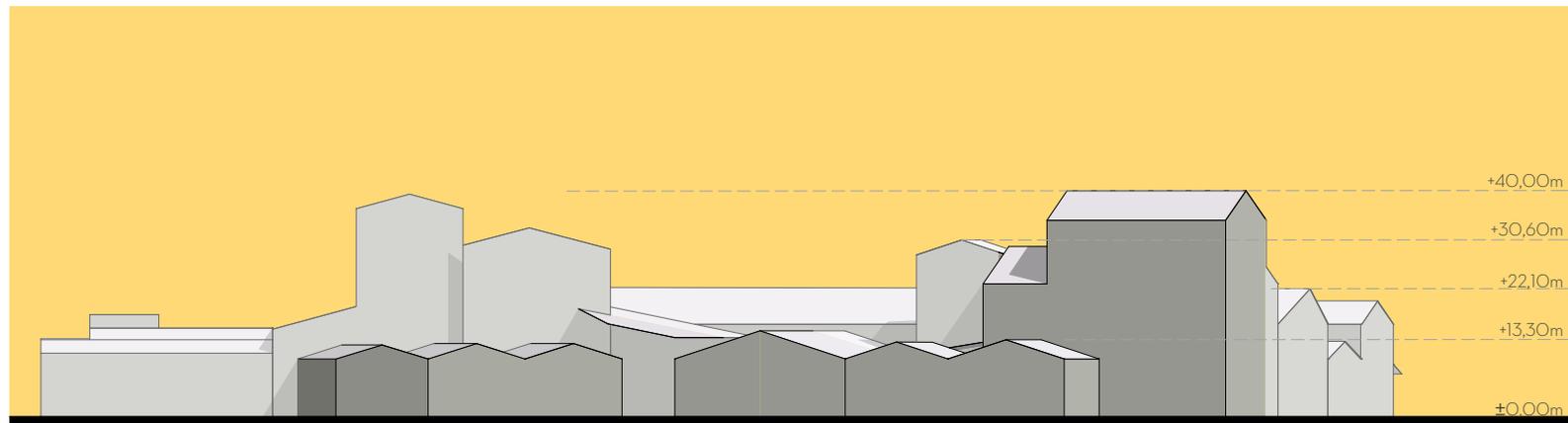
Alzado Este. Desde Continental Tire Andina S.A.



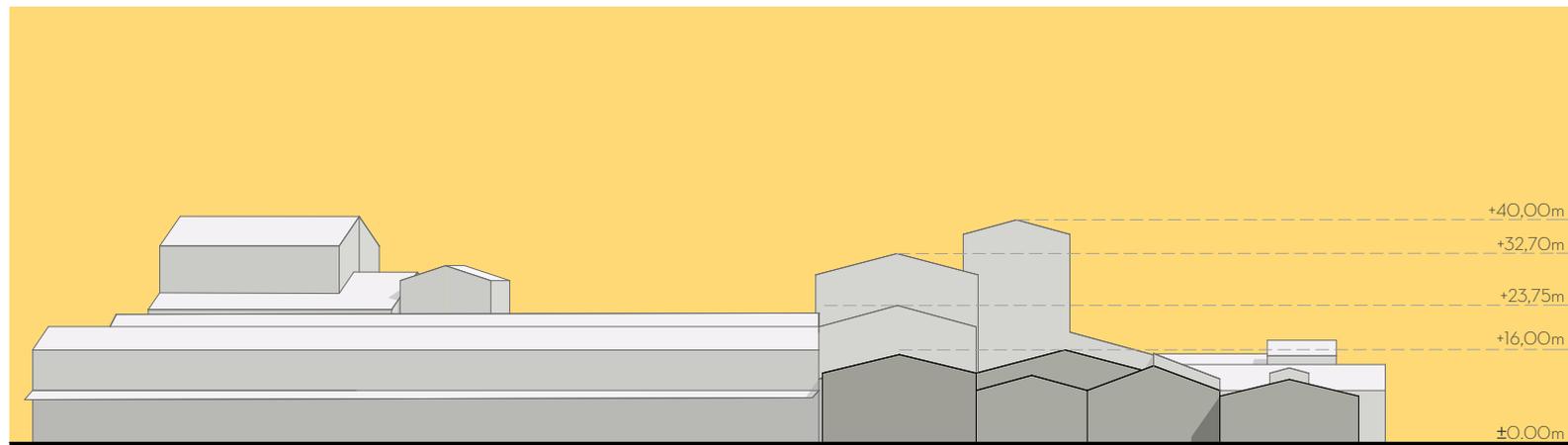
Alzado Oeste. Desde Calle Primera.



ALZADOS DE EDIFICIOS DE CERÁMICAS GRAIMAN



Alzado Norte. Desde la calle Cornelio Veintimilla.

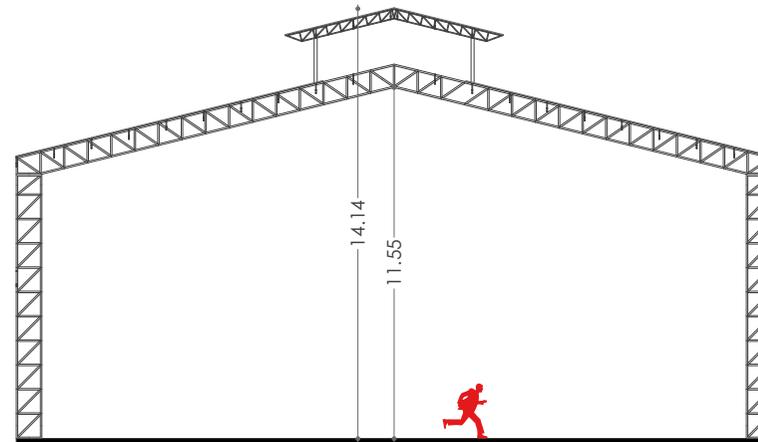
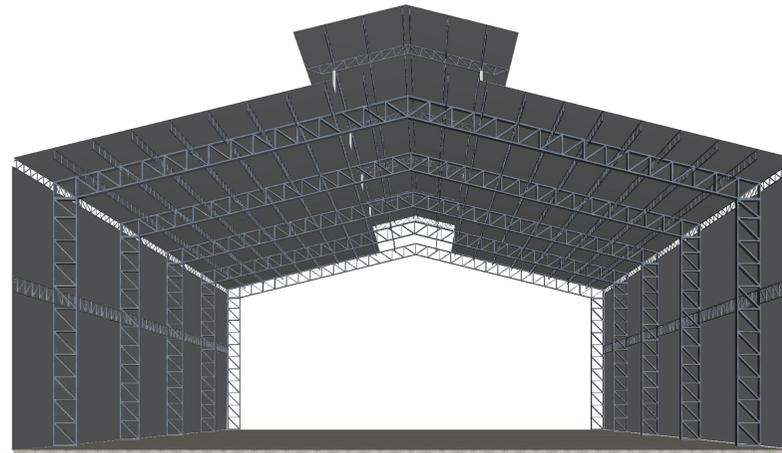


Alzado Sur. Desde Av. de las Américas.

4.2.1 TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS INDUSTRIALES EN GRAIMAN

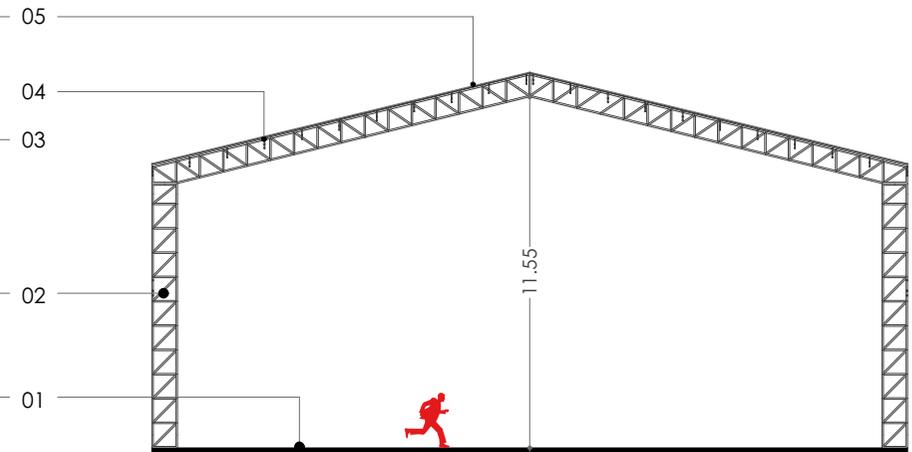
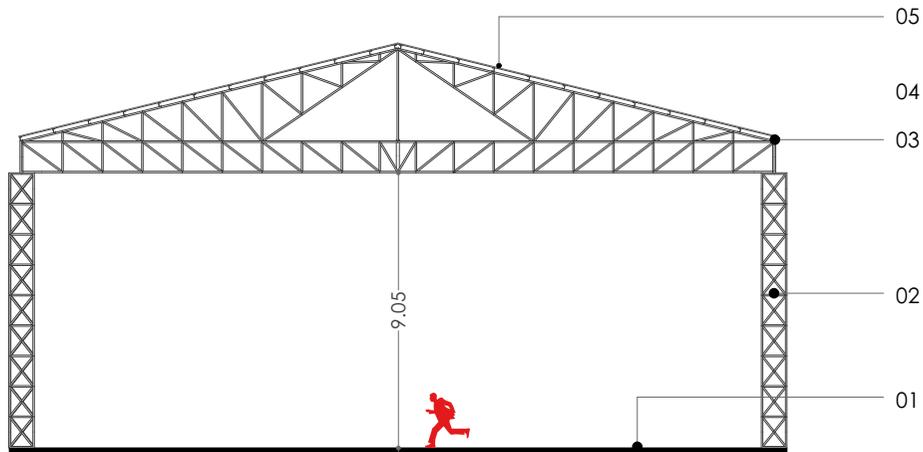
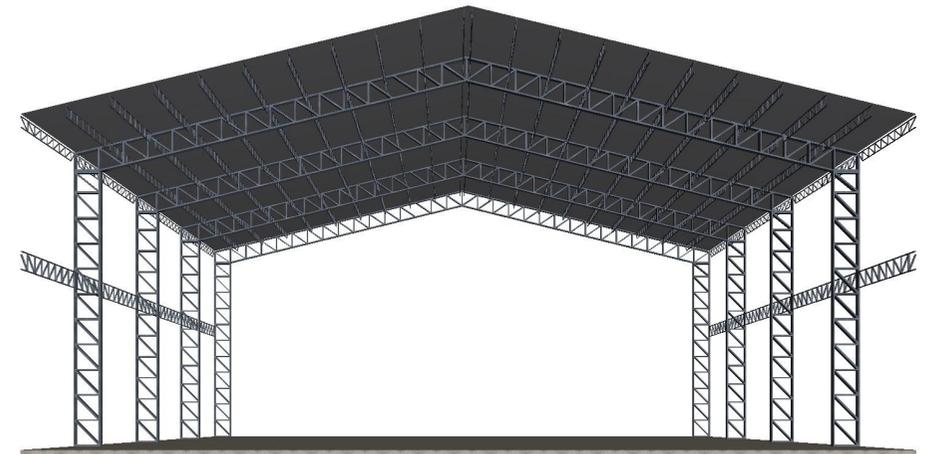
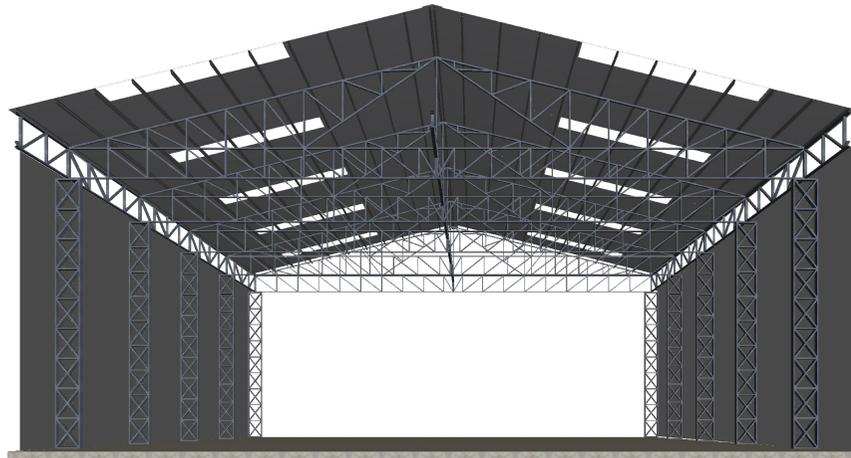
Se pudo identificar tres tipos de edificios. Estas tipologías nunca están dispuestas como edificios aislados sino adosados, por lo que se ventila e ilumina pasivamente por la cubierta generalmente y por las paredes cuando varían en altura. Tienen los mismos materiales de construcción, acero para la estructura, placas galvanizadas para el recubrimiento de paredes y techo y hormigón en el piso. Varía notablemente la solución de la estructura.

En los bloques tipo 1 (figura 77), existe una sobrecubierta a manera de chimenea longitudinal que permite la ventilación natural y la captación de luz, pero el aporte de lumínico es mínimo. En Graiman, este edificio contiene la actividad de pulido pero se utiliza más para las industrias Vandervilt y Tugalt. El bloque tipo 2 (figura 78), tiene placas translúcidas en su cubierta para la iluminación, pero sin aberturas para ventilación. Esta tipología es muy recurrente y se destina para las actividades de almacenamiento, esmaltado, secado y otras. El bloque tipo 3 (figura 79), no posee iluminación ni ventilación pasiva y se utiliza para las actividades de preparación de materiales, atomizado, molienda, etc., que son los lugares donde existen malos olores, humedad, polvo y poca iluminación; siendo el más desfavorable de todas con cuanto a confort físico.



77. Edificio industrial tipo 1

- 01 Contrapiso de hormigón
- 02 Columna compuesta de perfiles de acero
- 03 Correa G 125x50x15x2mm
- 04 Viga tipo celosía h=0,35m
- 05 Placa de galvalume trapezoidal



78. Edificio industrial tipo 2.

79. Edificio industrial tipo 3

4.2.2 CONSUMO DE ENERGÍAS EN GRAIMAN

Un análisis de consumo es necesario efectuarse para detectar el tipo de combustible requerido en Graiman y con qué tecnología y estrategias de captación activa y pasiva podríamos abastecer y reducir estas demandas.

Graiman, consume GLP, GNP, Diesel (tabla O2 y tabla O3) y electricidad para sus procesos industriales. La electricidad es la energía más demandada. Se usa sin interrupción para máquinas en la molienda, iluminación, decoración e impresión, cintas transportadoras, bombas dosificadoras de esmalte, robots paletizadoras, prensas y demás. Por otra parte, el Diesel sirve para la atomización, horno, preparación de fritas (materia prima del esmalte) y secado. Se deja de utilizar Diesel cuando hay suficiente suministro de GLP.

Todos los datos de consumo de energía eléctrica, fueron proporcionado por la empresa de distribución Centrosur. Estos datos son registros horarios del 2016 de cerámicas Graiman. Por otra parte, los valores del consumo de combustible derivados del petróleo fueron entregados por el departamento de Gestión Ambiental de Industrias Graiman; no obstante, este tipo de consumos no pueden ser abastecidos por elec-

tricidad y requieren temperaturas superiores a las alcanzadas por tecnología ST.

El mes de mayor consumo eléctrico en el 2016 es noviembre con 3.754.813,543 KWh y el menor es enero con 2.518.076,203 KWh. El promedio mensual consumido por Graiman es de 3.241.605,738 KWh.

De acuerdo al gráfico de demanda diaria (figura 80) se puede observar que existe disminución en la demanda en ciertos días; esto es debido a las pausas programado por la industria (navidad, fin de año, carnaval y días feriados).

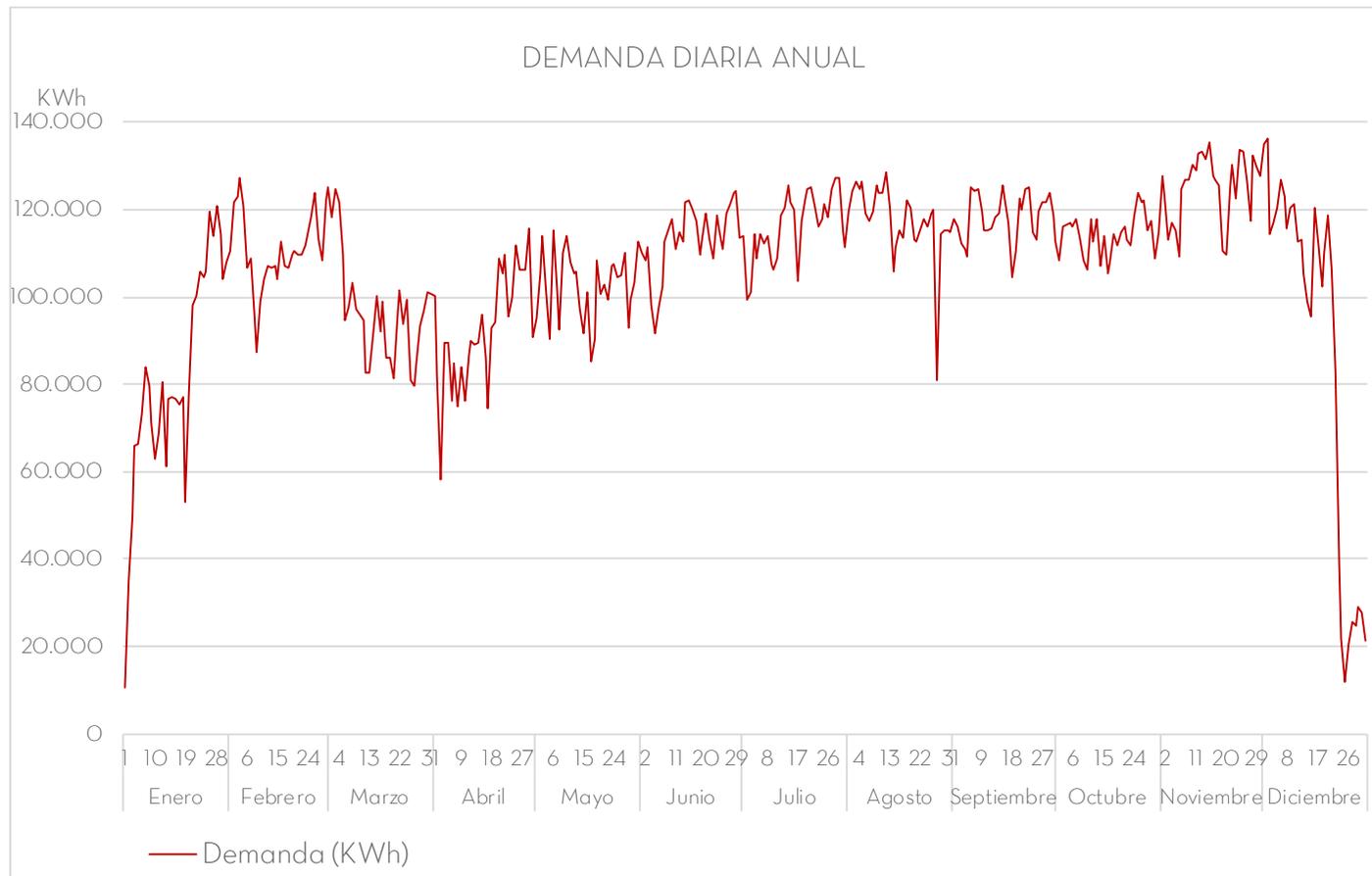
El día de menor demanda es el 1 de enero (10.470,24 KWh) y el máximo el 2 de diciembre (136.150,60KWh). La demanda promedio diaria es de 106.282,16 KWh.

Demanda Eléctrica Graiman 2016	
Mes	Demanda (KWh)
Enero	2.518.076,203
Febrero	3.208.761,377
Marzo	3.010.617,575
Abril	2.769.727,662
Mayo	3.177.328,765
Junio	3.397.228,673
Julio	3.602.140,548
Agosto	3.642.207,065
Septiembre	3.548.656,000
Octubre	3.539.140,922
Noviembre	3.754.813,543
Diciembre	2.730.570,521
TOTAL	38.899.268,855

Tabla O2. Consumo eléctrico de Cerámicas Graiman año 2016

Demanda combustible Graiman 2016			
Combustible	Diesel	GLP	GNL
Mes	gal	kg	kg
Enero	5.108	324.957	563.506
Febrero	5.340	190.487	981.424
Marzo	119.644	262.557	825.501
Abril	107.021	145.113	852.828
Mayo	154.499	110.157	1.006.629
Junio	139.840	39.454	1.206.513
Julio	195.594	-	1.135.530
Agosto	191.300	-	1.319.222
Septiembre	130.259	-	1.374.909
Octubre	136.410	-	1.372.950
Noviembre	157.517	-	1.310.714
Diciembre	129.775	-	910.598
TOTAL	1.472.307	1.072.725	12.860.323

Tabla O3. Consumo de combustibles de Cerámicas Graiman año 2016



80. Consumo eléctrico diario de Cerámicas Graitman año 2016

4.2.3 ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO.

DATOS METEOROLÓGICOS.

Los datos obtenidos son de la página web de la Estación Meteorológica El Vecino-UPS (próxima a la zona de estudio) del año 2016.

Factores del clima

Cuenca está ubicada en la sierra sur ecuatoriana, a una latitud 2° 53' Sur, longitud 78°59' Oeste y una altitud de 2550 msnm.

Temperatura

La temperatura media anual de Cuenca y sus alrededores oscila alrededor de 15°C a 16°C. Los meses de octubre a febrero son los más calurosos, mientras que los meses más fríos se los identifica entre junio y septiembre.

Posee una radiación solar promedio de 15,4 MJ/m² día lo que equivale a 179 Wh/m² día (Delgado O. & Orellana S., 2015).

Vientos

La dirección predominante de los vientos es Noreste y la velocidad promedio del viento es de 9.29 km/h

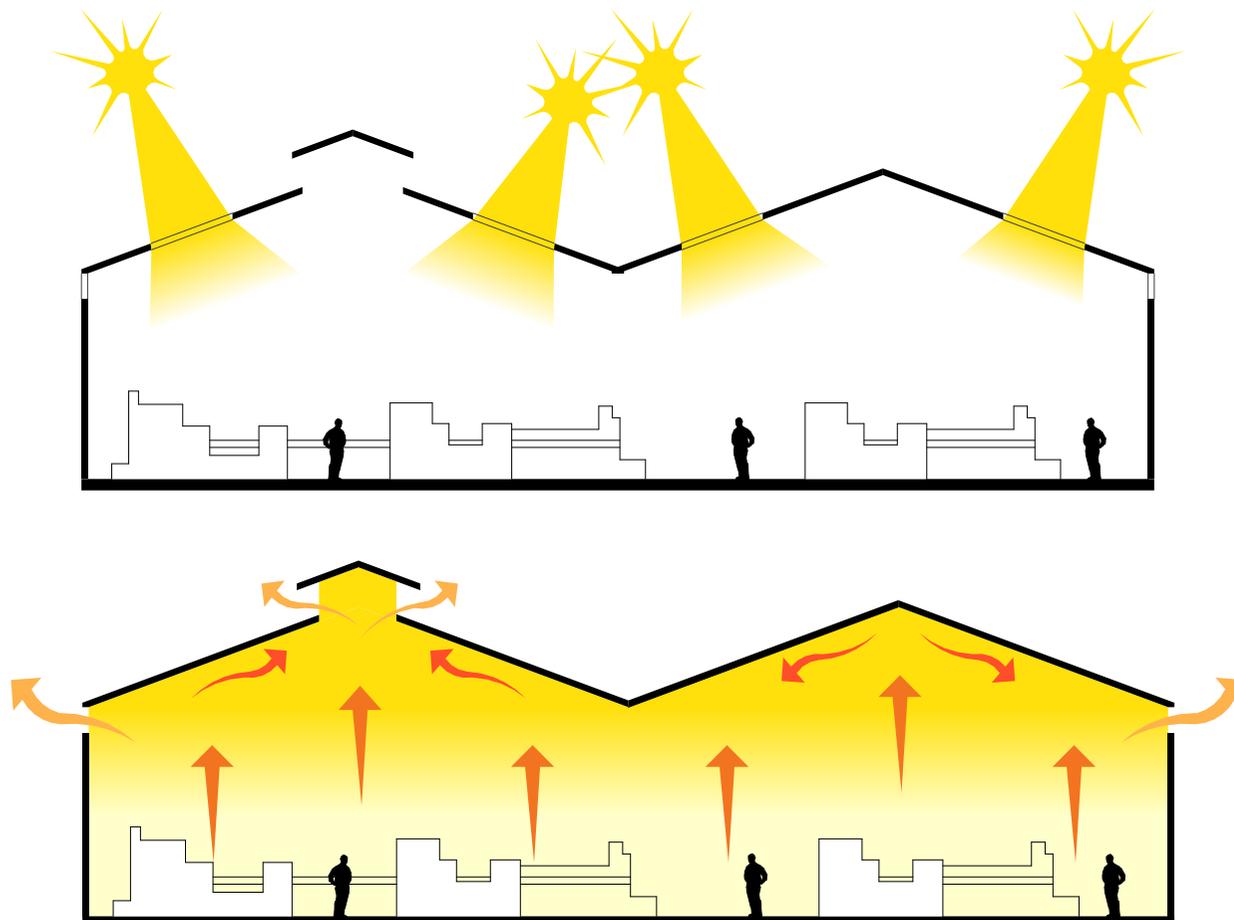
Humedad Relativa

La humedad relativa promedio de la ciudad es 65%, oscilando entre 40% y 85%. Tiene mayor porcentaje entre el periodo de marzo y mayo y menor humedad en los demás meses.

ESTRATEGIAS PASIVAS DE LOS GALPONES.

Se identificaron estrategias pasivas para iluminación natural mediante placas translúcidas en cubierta e intento de ventilación natural por efecto convectivo, con aberturas en la parte superior de algunas paredes que dan al exterior (figura 81). La gran altura de los galpones, (entre 15m y 40m), ayuda a la estratificación térmica situando el aire caliente en la parte de arriba y el frío abajo. Actualmente Graiman no utiliza luz artificial durante el día ni tampoco equipos mecánicos de ventilación. Los edificios no poseen aberturas en las paredes externas, que tomen aire fresco del exterior y posibiliten la renovación del aire.

Debido a que el estudio se enfoca en la captación solar activa y por cuestiones de tiempo disponible para la realización de la tesina, no se realizaron mediciones de niveles de iluminación natural, confort térmico o acústico actuales.



Además, hacer simulaciones no es factible, ya que el aporte térmico de las máquinas y equipos en el interior de los galpones, es grande pero indeterminado y se requiere un estudio para saberlo.

81. Iluminación y ventilación actual en edificios industriales de Graiman.

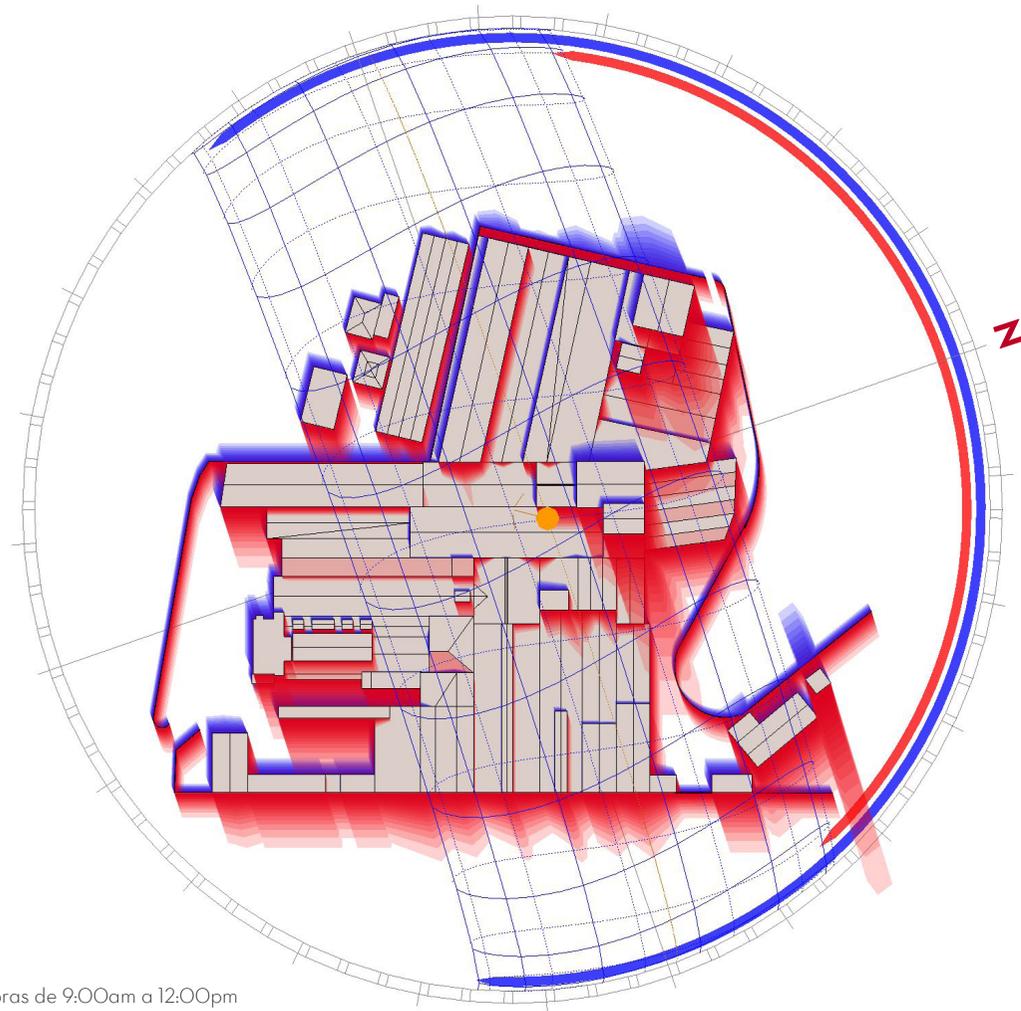
4.2.4 ESTUDIO DE SOMBRAS Y RECORRIDO SOLAR

A partir de un modelo simplificado 3D generado en Ecotect Analysis 2011 de todos los edificios de Graiman y los circundantes, se simulan sombras desde las 9am hasta 17pm, en los días de solsticio, por ser casos extremos (figura 82). Se observa que las sombras se generan por volúmenes propios y cubiertas adyacentes, debido a la diferencia de alturas y porque existen elementos en la cubierta como chimeneas o sobrecubiertas utilizadas para la ventilación. Los edificios que más sombra producen son los que contienen las atomizadoras. No existen árboles o postes que generen sombras sobre las cubiertas.

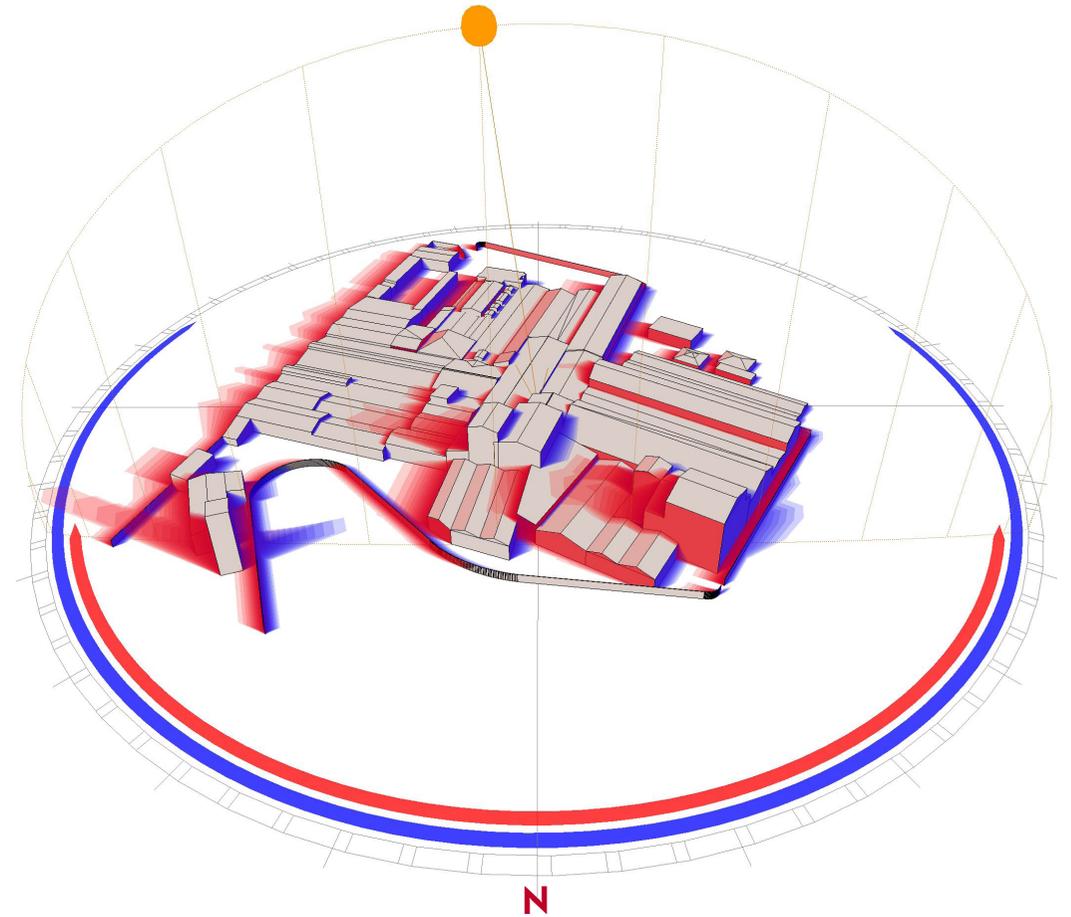
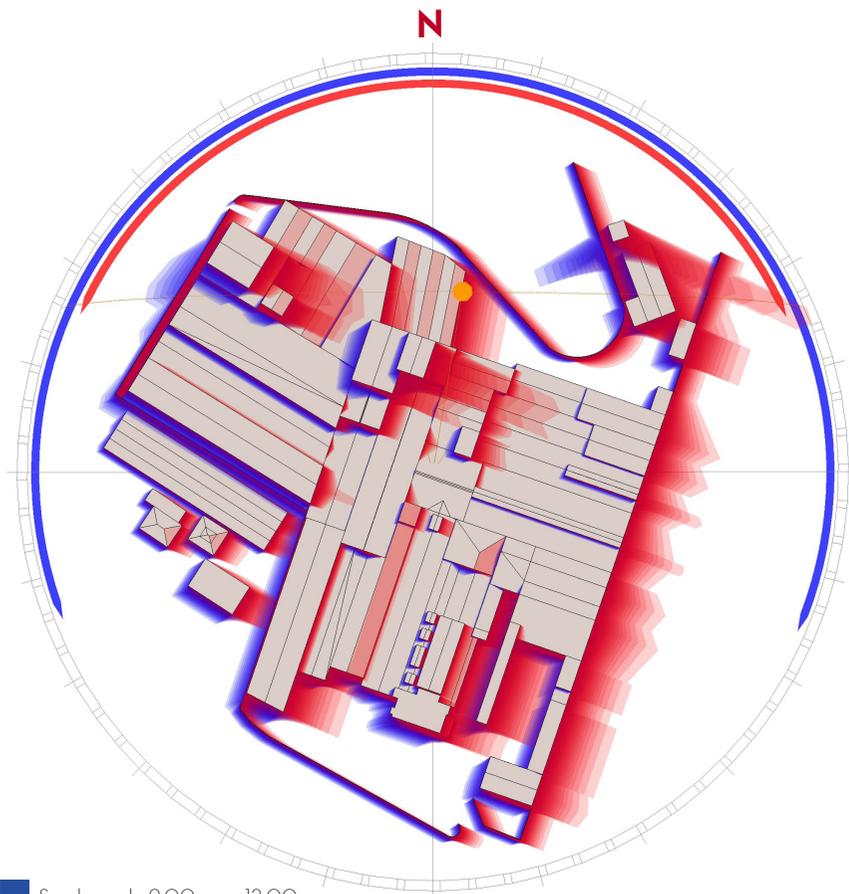
Se hace evidente que las sombras más grandes proyectas sobre las cubiertas corresponden al solsticio de invierno (21 de junio). En esta fecha del año el sol se ubica en el norte; visto desde la Tierra, produciendo grandes sombras debido a la ubicación de los edificios (figura 83). Todo lo contrario, sucede en el solsticio de verano donde el sol está al sur, provocando pocas sombras sobre las techumbres (figura 84).

En consecuencia, menos del 10% de las cubiertas se ve afectado por sombras en días extremos. En las fachadas debido a la orientación de los edificios, se anula la incidencia directa del sol en la mayor parte del año.

■ Sombras de 9:00am a 12:00pm
■ Sombras de 12:00pm a 17:00pm

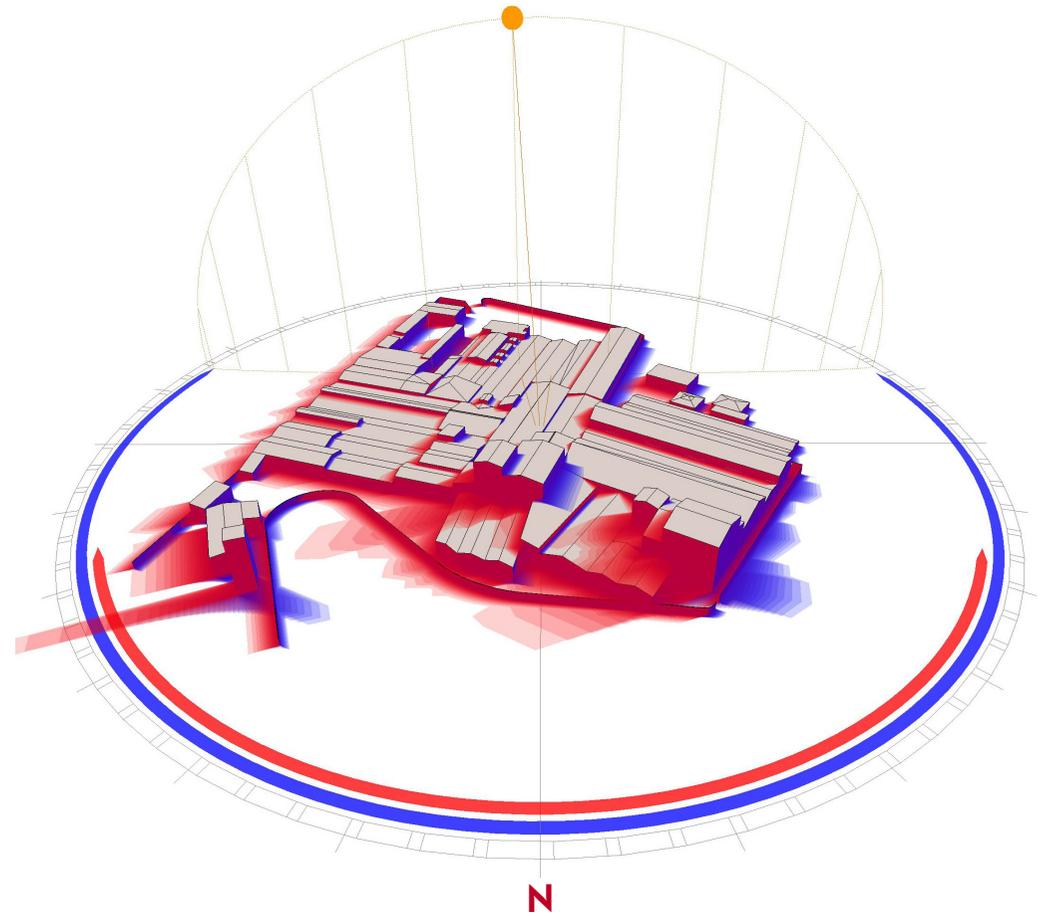
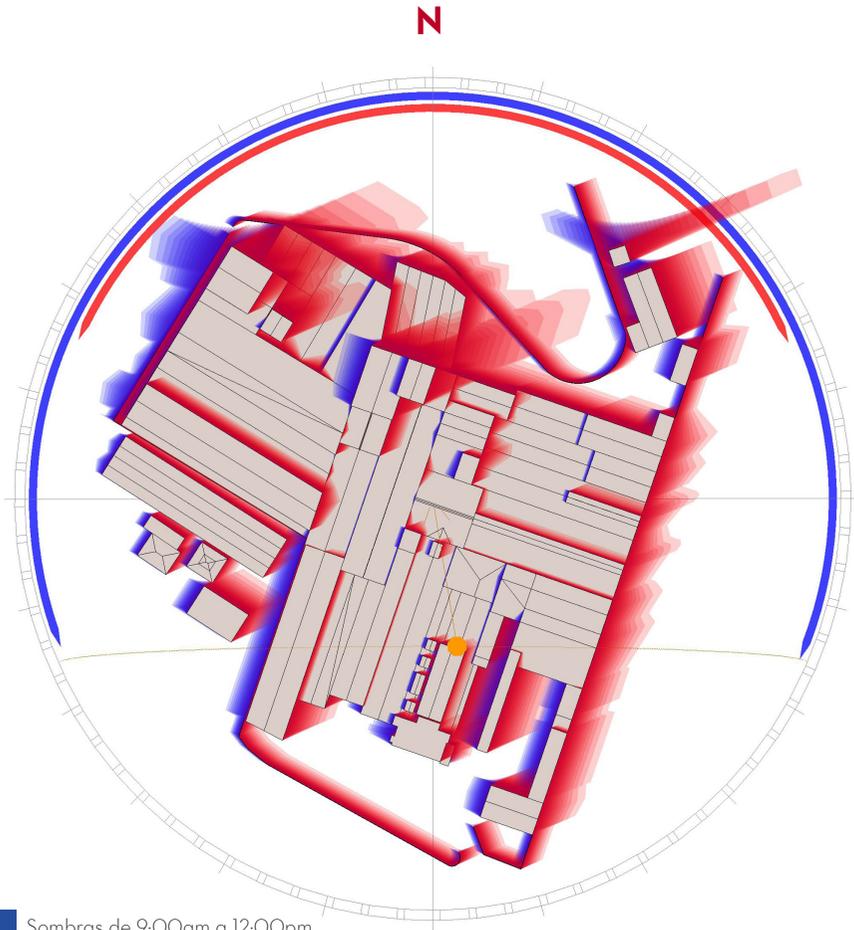


82. Recorrido de sol anual.



■ Sombras de 9:00am a 12:00pm
■ Sombras de 12:00pm a 17:00pm

83. Solsticio de verano: 21 de Diciembre. 9:00am a 17:00pm



■ Sombras de 9:00am a 12:00pm
■ Sombras de 12:00pm a 17:00pm

84. Solsticio de invierno: 21 de Junio. 9:00am a 17:00pm



4.2.5 CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS.

Luego de haber realizado un análisis del estado actual de los edificios industriales Graitman, podemos concluir que:

- Los edificios industriales en general se ilumina y ventila por medio de la cubierta. No poseen medidas de renovación de aire ya que no existen aberturas destinadas para el ingreso de aire fresco.
- No se puede asegurar que las condiciones de confort físico en el interior de los galpones sean buenas o malas, debido a que no se realizaron mediciones ni simulaciones por las razones antes mencionadas
- De las tipologías de galpón analizadas, la tipo 3 es la que menos estrategias pasivas presenta y la tipo 2 la más favorable en cuanto iluminación natural. También identificamos ciertos galpones que no son de ningún tipo, sino ampliaciones ante el crecimiento de la industria.
- Si bien la volumetría y orientación de las edificaciones en conjunto es compleja, existe regularidad en las cubiertas siendo amplias y regulares.
- El estudio de sombras y recorrido solar, permite descartar las fachadas como superficie de irradiación constante y confirmar a las techumbres como las superficies óptimas para colocar colectores solares, por su gran superficie y cantidad de horas de irradiación. Por otra parte, las sombras proyectadas en las cubiertas y fachadas son por volúmenes propios, permitiendo identificar la cantidad de superficie sombreada y así tenerlo presente al momento de proponer la colocación de los paneles PVs.
- El consumo energético de la planta registrado en el 2016 es de 200.423.577,19 convertidos a kWh/año el diésel, gas licuado de petróleo, gas natural y electricidad. Al año, esta demanda señala que esta fábrica sola consume el 5 % de la energía requerida en toda la ciudad de Cuenca, en todos los usos, industrial, residencial, transporte y urbano. De este consumo el 19,4 % es electricidad. Estos datos denotan la importancia de este complejo frente a los consumos locales.
- Los edificios construidos de Graitman tienen una superficie en cubierta de 53.300m²; considerando el nivel de irradiación de la ciudad de 1.577 kWh/m² año (CONELEC, 2008) significa que recae más de 84.000MWh al año en irradiación solar directa y difusa, lo que nos demuestra el potencial enorme de las cubiertas para aprovechar energía.
- Con las tecnologías ST es imposible alcanzar las temperaturas industriales para los procesos térmicos de cocción, por lo que se descarta utilizar este sistema. Pero, demanda electricidad para todos los demás procesos por lo que nos enfocaremos en adaptar colectores PVs.

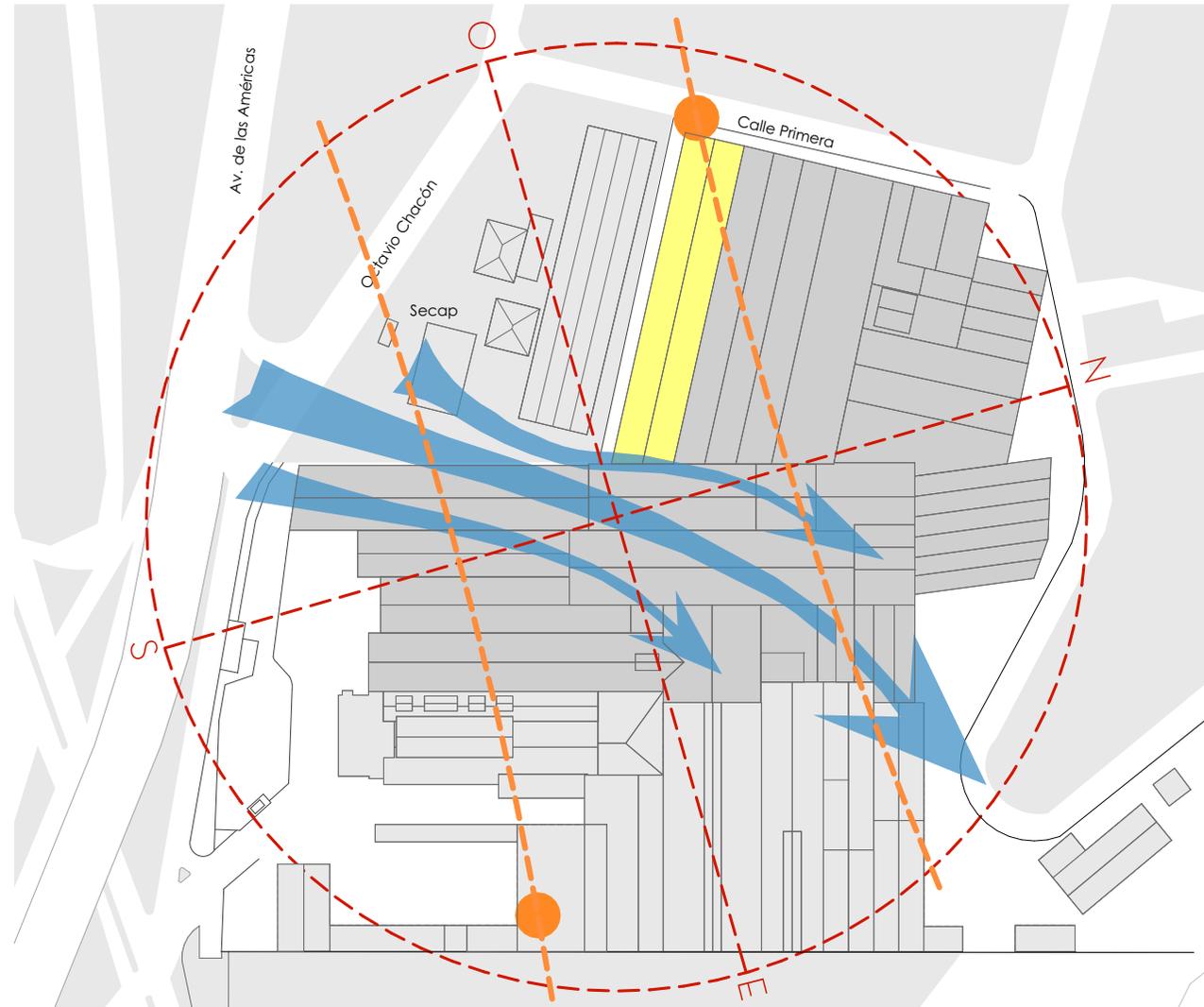
4.3 PROPUESTA DE ENVOLVENTE PARA EDIFICIO INDUSTRIAL GRAIMAN

En base al análisis de la situación actual de los edificios industriales de Graiman, se realiza una propuesta de envoltente que pueda ser adaptativa para la mayoría de galpones de la industria. Se considera integrar PVs, procurando a la vez mantener iluminación natural en cubierta. Además, se proponen sistemas pasivos que permitan ventilar y controlar la temperatura interior, suponiendo altas ganancias térmicas por la radiación solar incidente, equipos y máquinas. Más allá de las posibilidades pasivas, este trabajo se centra en el dimensionar la posibilidad de autogeneración PV, considerando las enormes demandas energéticas existentes.

Entonces, para el trabajo tomamos un galpón de la tipología de edificio industrial 2, por ser la más recurrente, con su emplazamiento real (figura 85). Las medidas promedio del edificio son 48m de largo, 25m de ancho, 13m de alto, hasta el cumbrero y cubierta con 26% de pendiente. Se mantiene el tipo de recubrimiento con placas de galvalume trapezoidal en fachadas y cubierta, ya que esta permite colocar anclajes en sus crestas trapezoidales para adherir los paneles PVs.

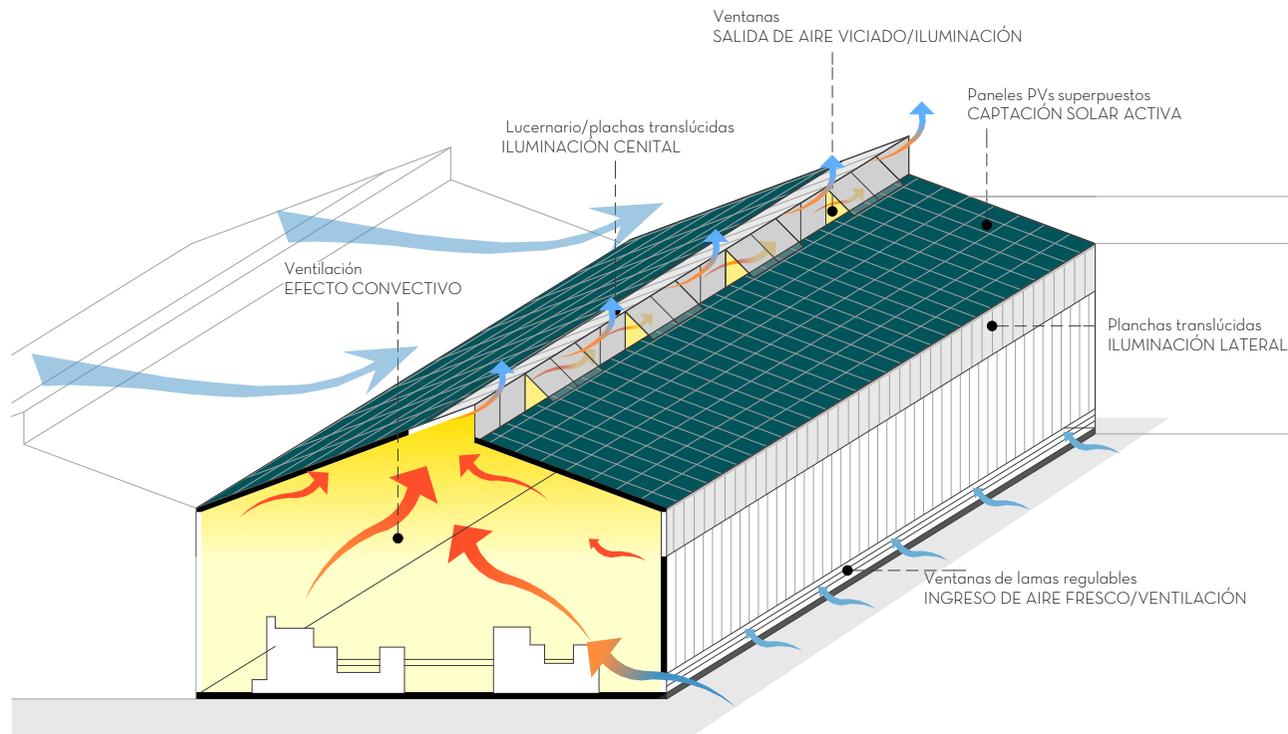
CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA

Se despliegan colectores PVs solamente en la techumbre, por su enorme potencial. El tamaño y forma del módulo PV guarda relación de dimensión y aspecto con la cubierta. También se



85. Emplazamiento, orientación y vientos.

Galpón seleccionado.



podría decir que el colector PV cumple con la multifuncionalidad, ya que no solo es generador de energía, sino también material de recubrimiento.

El panel PV utilizado es multicristalino de 60 celdas. Las placas de sílice de 60 celdas son de las más habituales en el mercado, es tecnología madura y por ende más económica. Mide 160x95cm con marco de aluminio. El sistema de anclaje es con rieles de aluminio y abrazaderas ajustables en los extremos de los paneles PVs. Con las condiciones explicadas se pueden colocar en la cubierta del galpón considerado, 540 paneles.

Para el mantenimiento se considera una escalera exterior, con el que tendríamos acceso a la cubierta.

ESTRATEGIAS PASIVAS DE DISEÑO.

Se proponen estrategias pasivas de iluminación y ventilación natural, sabiendo que se necesita evitar consumir energía eléctrica durante el día para iluminación y que las ganancias térmicas son considerables pero desconocidas y deben evacuarse para evitar un sobrecalentamiento.

Por lo tanto, la propuesta modifica la estructura de la cubierta en tipo diente de sierra para iluminar y ventilar naturalmente y así liberar superficie de cubierta. Se tiene en cuenta orientar la cubierta diente de sierra según lo estudiado, ventana en dirección de los vientos y evitando recibir radiación directa.

Además, para reforzar la iluminación natural se varía el material de recubrimiento de galvalume trapezoidal por planchas translúcidas de policarbonato en cubierta y fachadas. Si bien no todos los galpones son iguales en altura, este caso permite iluminar solo por un lado ya que el adosamiento con el lado adyacente del otro galpón es completo.

Para la renovación del aire, se prevé un ingreso de aire por aberturas cerca del suelo para que el aire frío entre en el espacio empujando la masa de aire caliente hacia arriba. Si bien la fachada exterior con las aberturas está orientada en dirección de los vientos, en caso de no ser posible, el aire frío siempre entrará. La salida del aire viciado se da por efecto convectivo o stack, con ventanas abatibles automatizadas en la cubierta. Estas ventanas se abren cuando los sensores de temperatura y contaminación ambiental indican niveles inadecuados de confort. Este sistema permite controlar la temperatura interior, evacuando el calor producido por

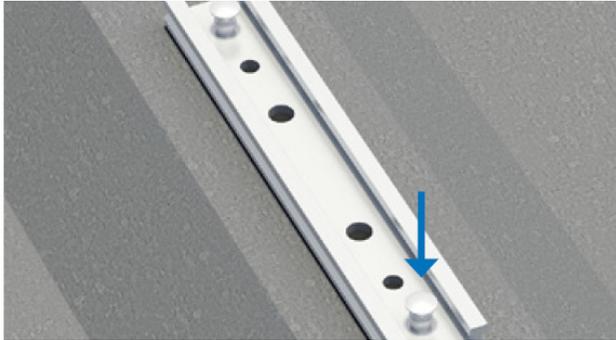
la actividad industrial o la radiación solar, además de reducir la humedad y eliminar olores indeseables y partículas contaminantes (figura 86). Las ventanas nunca se cerrarán por completo.

SISTEMA SUPERPUESTO.

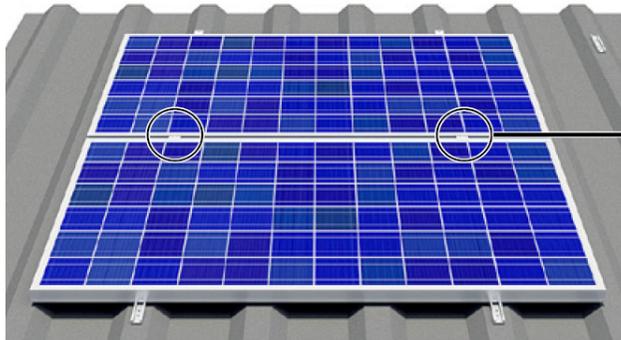
Aunque el sistema PV propuesto no se considera bajo el concepto de integración arquitectónica, se busca crear una cubierta ventilada, generando una cámara de aire entre las placas de galvalume y los paneles PVs. Esta estrategia permite refrigerar pasivamente las celdas PVs y mitigar los efectos de calor que reducen su rendimiento. Además, al generar una doble capa se evita ganancias de calor al interior del edificio en días de irradiación extrema. Al tratarse de un edificio preexistente, lo ideal es no reemplazar el material de la envolvente, sino acomplarse a él.

Por otra parte, el impacto arquitectónico que genera la envolvente PV superpuesta es mínimo, puesto que, la connotación industrial no implica un espacio relevante en arquitectura, así como, en el entorno urbano de emplazamiento.

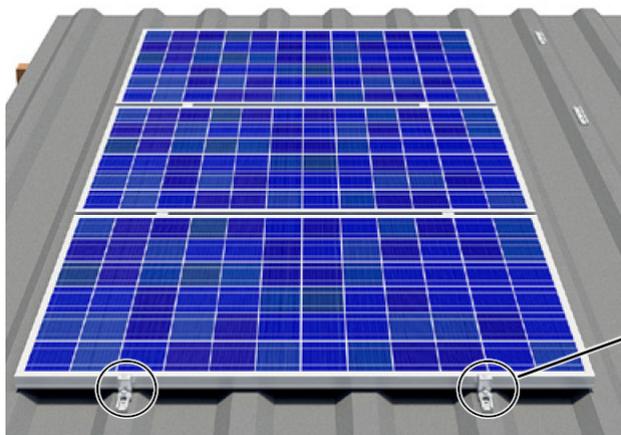
En conclusión, se ha considerado reinterpretar un edificio industrial desde las tipologías existentes y los referentes estudiados, con la finalidad que el trabajo sea significativo antes



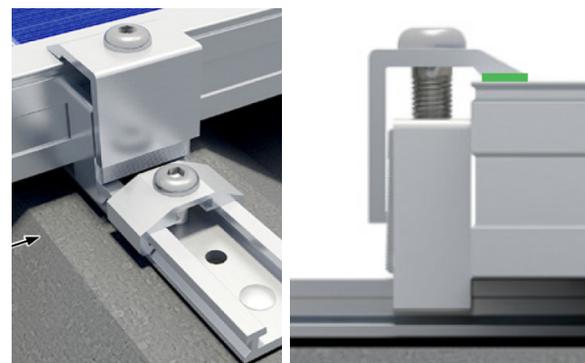
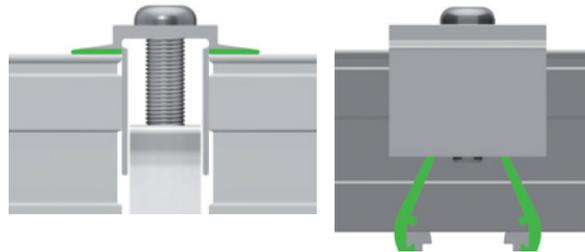
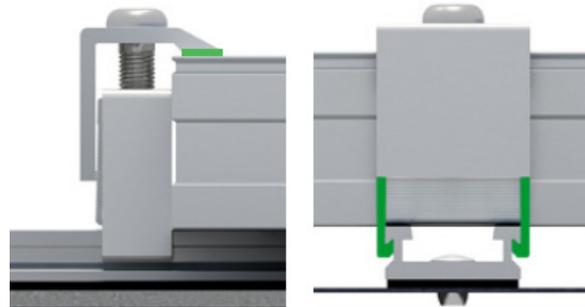
87. Colocar el módulo PV en las rieles con la abrazadera de inicio.



88. Colocar abrazadera intermedia para asegurar el siguiente modulo PV con el anterior.



89. Para el final, colocar la abrazadera de cierre más clip de bolqueo



de crear un edificio desde cero.

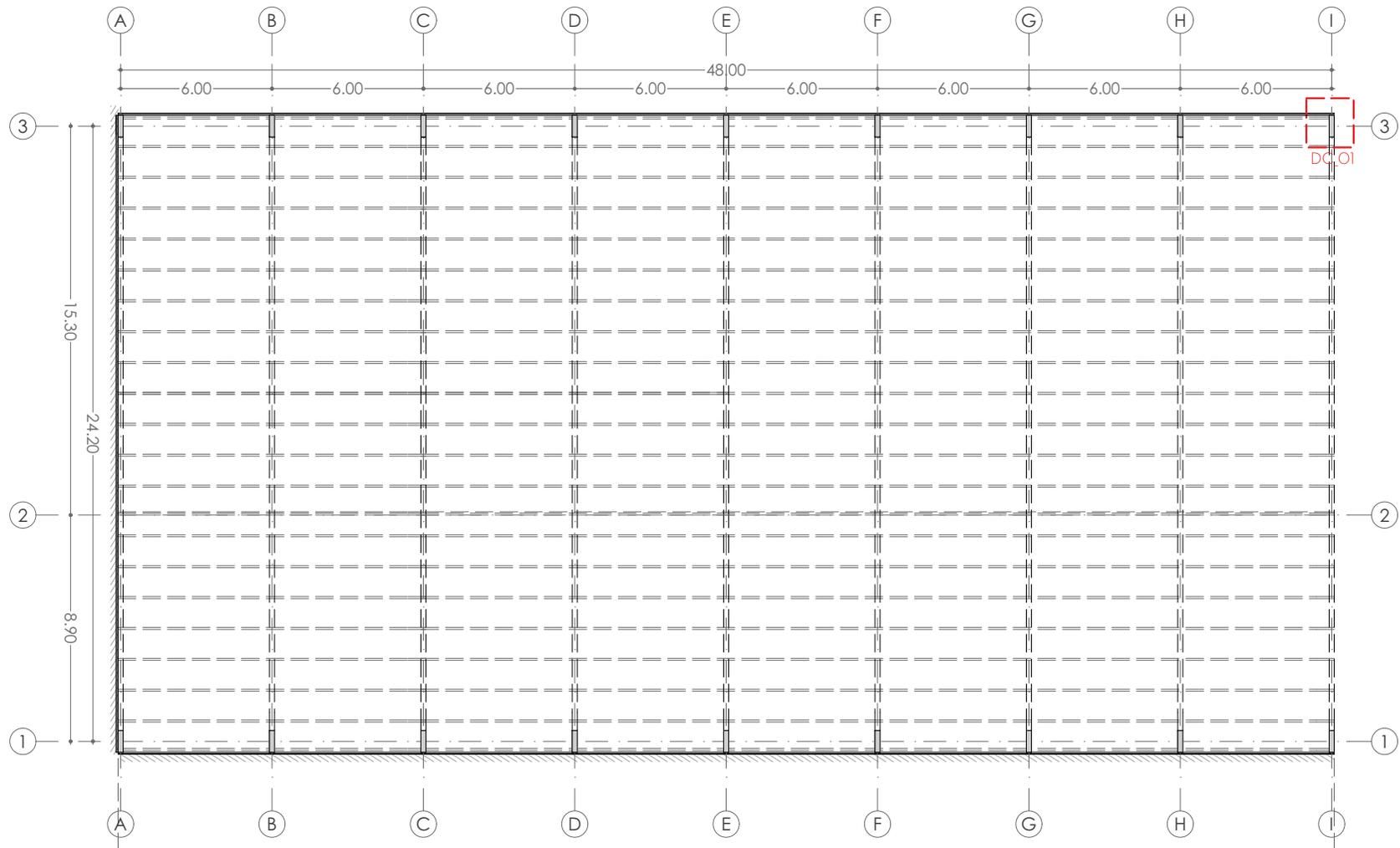
MONTAJE DE PANELES FOTOVOLTAICOS

El sistema llamado: S:FLEX Befestigungssysteme von für Trapez und Wellblechdach. (S:flex, 2017), se basa en la colocación de rieles sobre la cresta trapezoidal de la cubierta metálica, a través de remaches o tonillos autoperforantes y mediante abrazaderas, adherir los paneles PV a la cubierta. (figura 87-88-89).

Este sistema permite ubicar los módulos PV tanto vertical como horizontalmente. Es de rápida y fácil instalación, además asegura la estanqueidad de la cubierta.



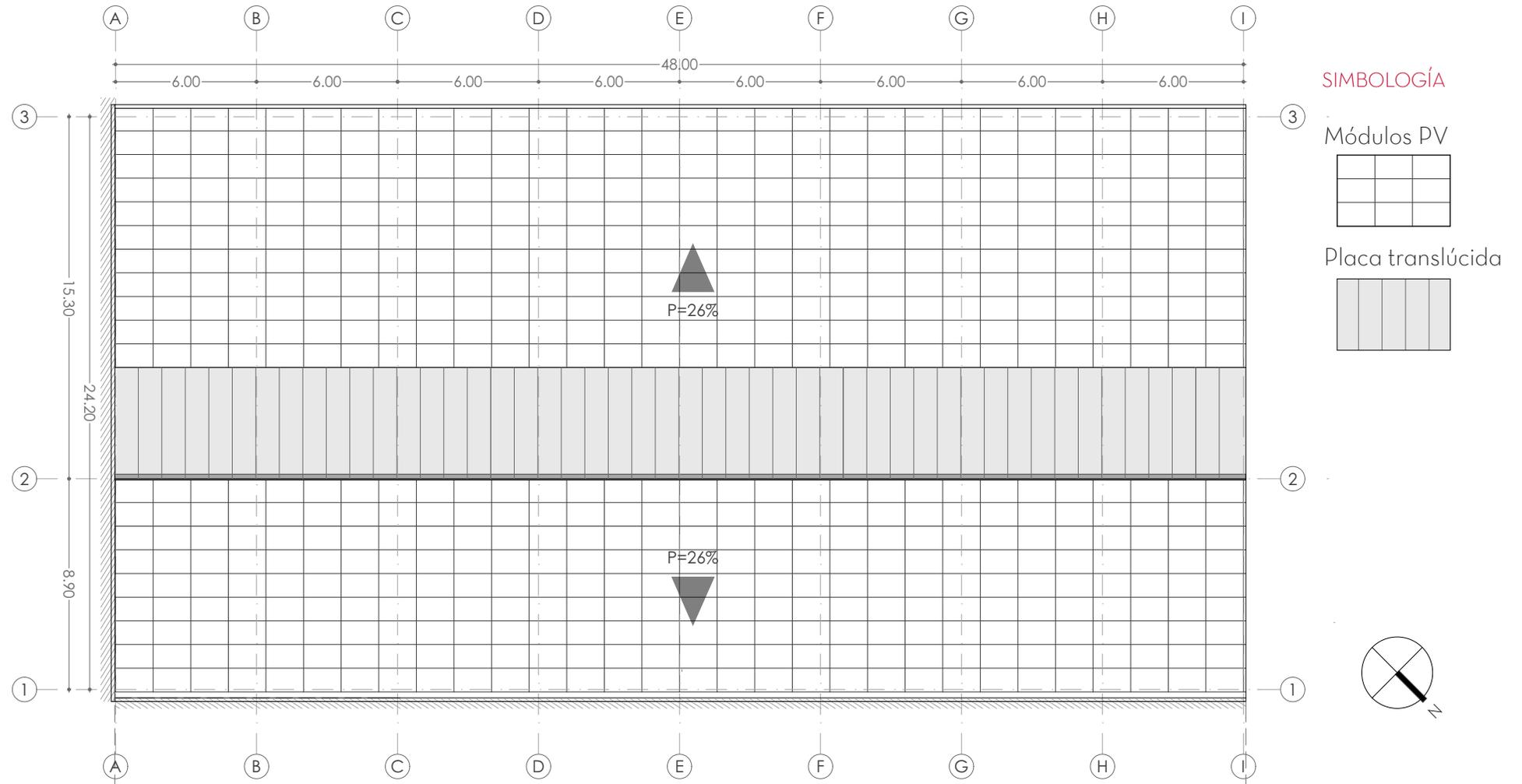
PLANTA ESTRUCTURAL DE CUBIERTA



esc 1:250

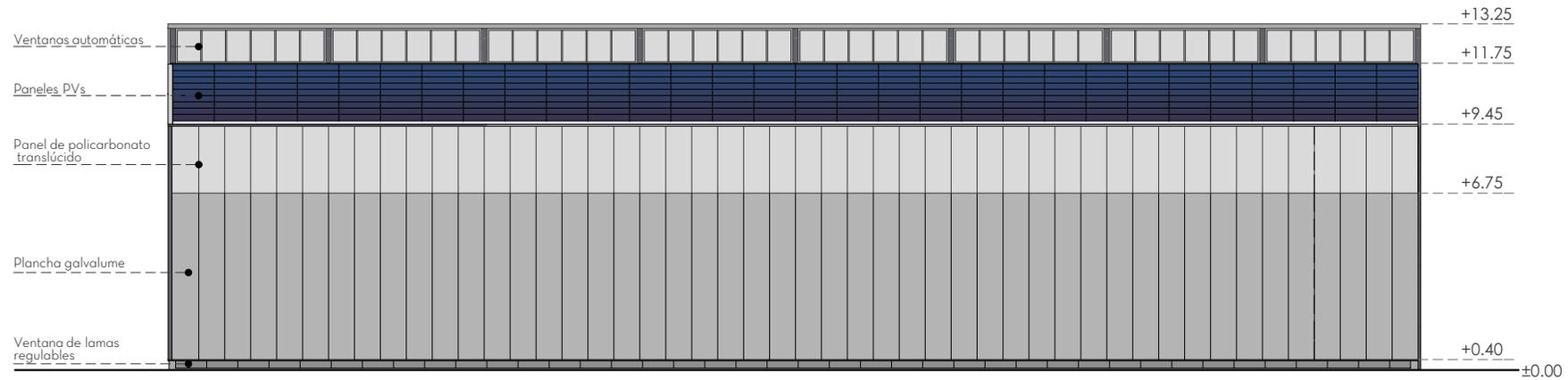


PLANTA DE CUBIERTA

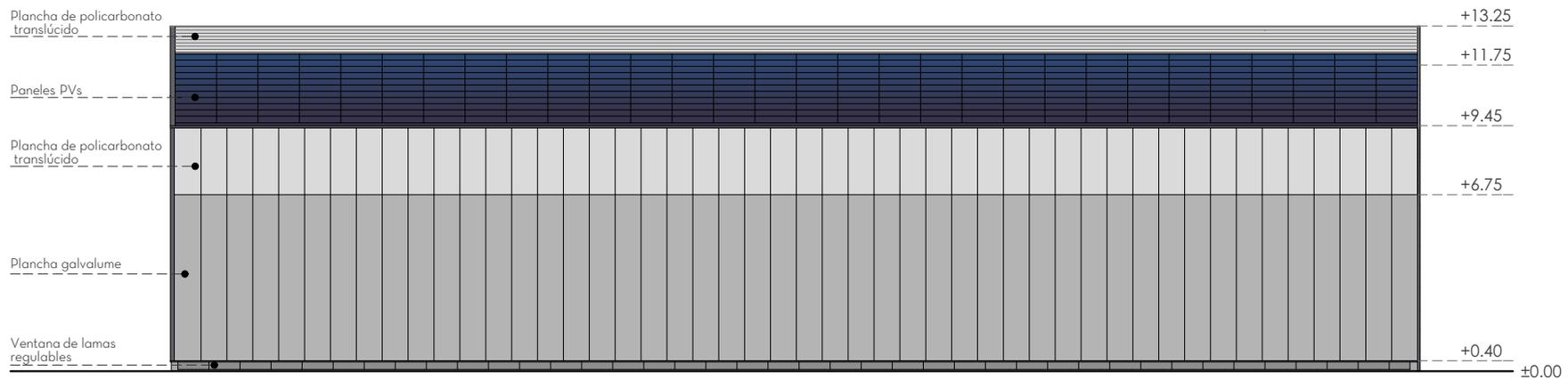


esc 1:250

ALZADO LATERAL.



esc 1:250

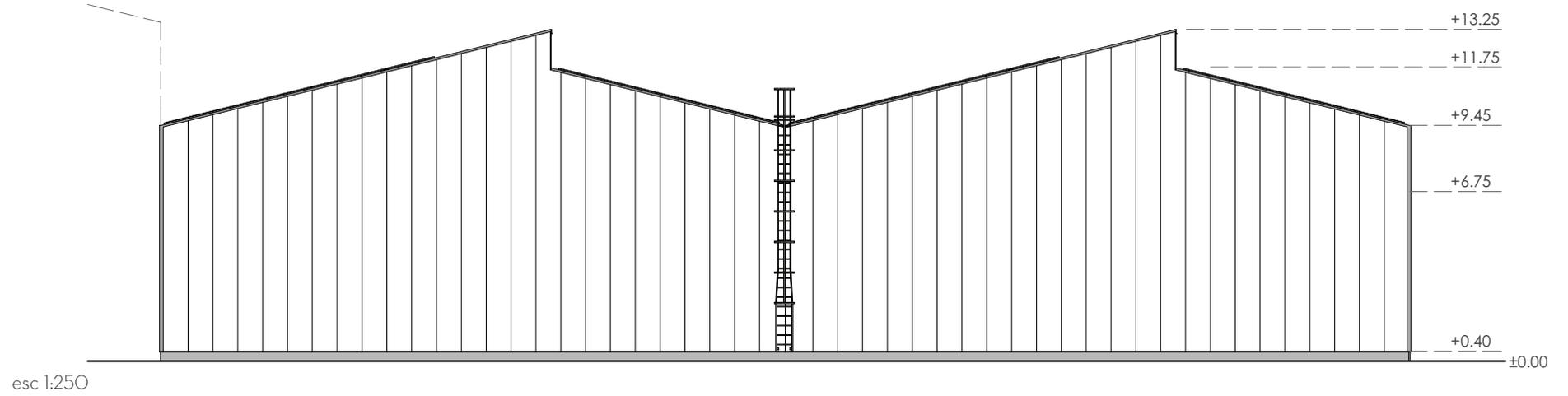


esc 1:250

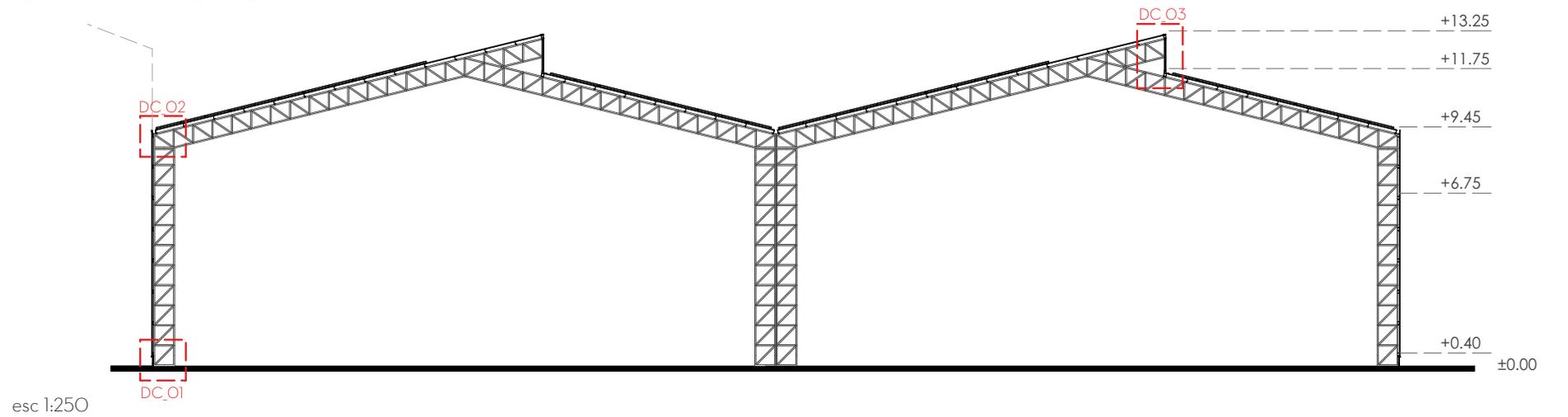
Alzado lateral en caso de no existir adosamiento



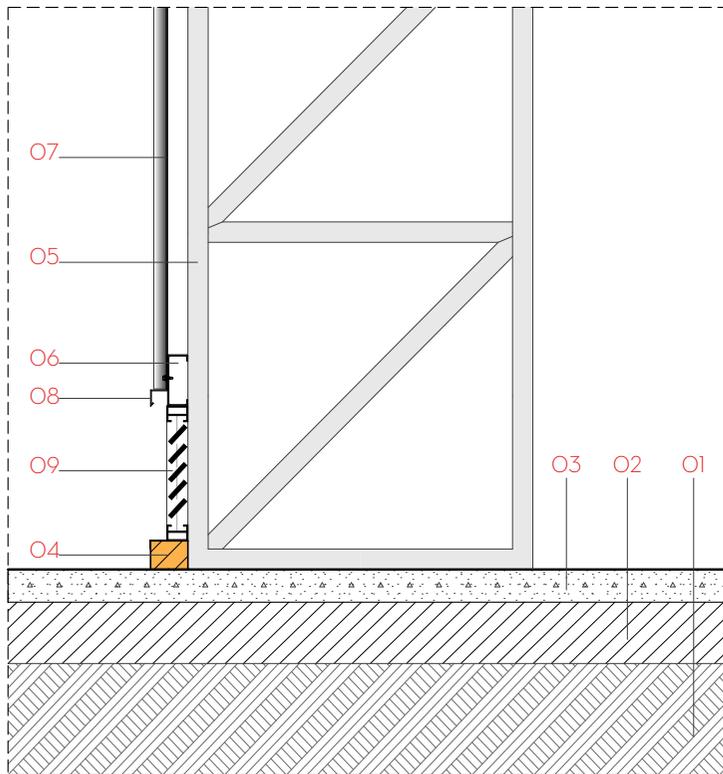
ALZADOS FRONTAL Y POSTERIOR.



SECCIÓN TRANSVERSAL



DETALLE CONSTRUCTIVO_DC 01



esc 1:20

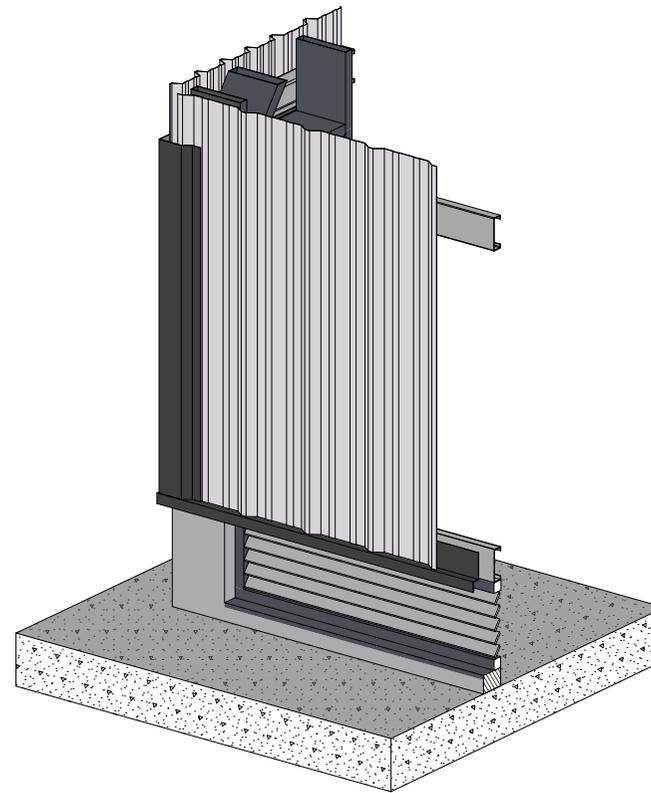
LEYENDA

O1 Suelo natural.

O2 Suelo mejorado y compactado.

O3 Contrapiso de hormigón.

O4 Mampostería de ladrillo 7x14x21cm. Enlucido 1cm.



O5 Columna metálica tipo celosía.

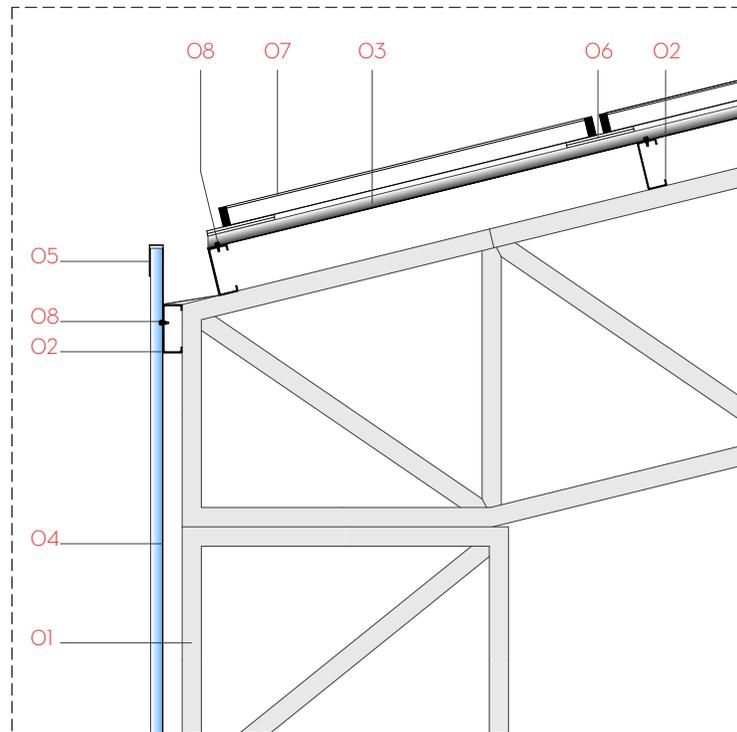
O6 Perfil metálico G 125x50x12x2mm.

O7 Plancha galvanizada de cresta trapezoidal e=0,30mm.

O8 Remate inferior tipo goterón de chapa galvanizada.

O9 Ventana de lamas regulables de chapa galvanizada.

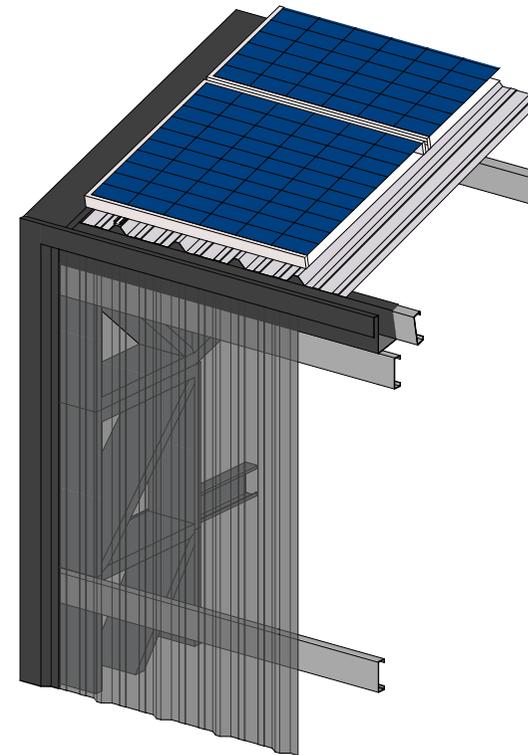
DETALLE CONSTRUCTIVO_DC 02



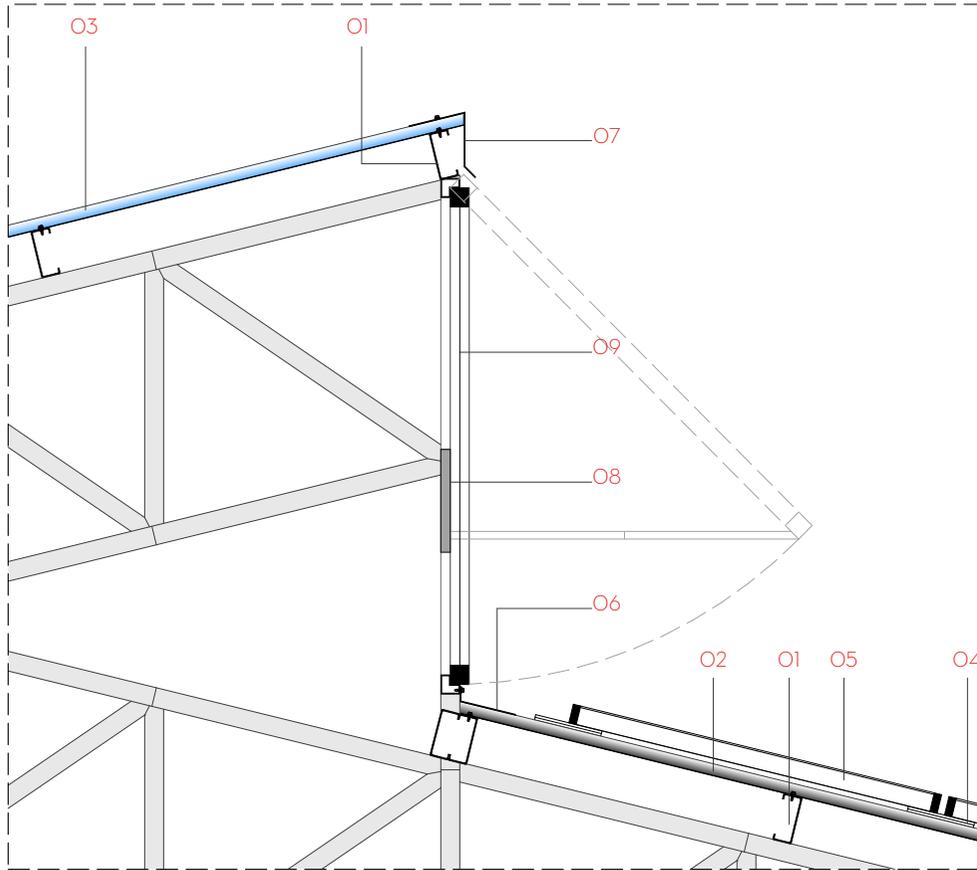
esc 1:20

LEYENDA

- O1 Columna metálica tipo celosía.
 O2 Perfil metálico G 125x50x12x2mm.
 O3 Plancha de galvalume de cresta trapezoidal e=0,30mm.
 O4 Plancha translúcida policarbonato de cresta trapezoidal.
 O5 Remate superior y canal de acero galvanizado.
 O6 Riel de aluminio para anclaje de PV en techo trapezoidal.
 O7 Módulo PV multicristalino de 60 celdas de 100x160cm.
 O8 Tornillo autoperforante 12-14x3/4" + Arandela de acero-neopreno.



DETALLE CONSTRUCTIVO_DC 03



esc 1:20

LEYENDA

01 Perfil metálico G125x50x12x2mm.

02 Plancha galvalume de cresta trapezoidal e=0,30mm.

03 Plancha translúcida policarbotano de cresta trapezoidal.

04 Riel de aluminio para anclaje de PV en techo trapezoidal.

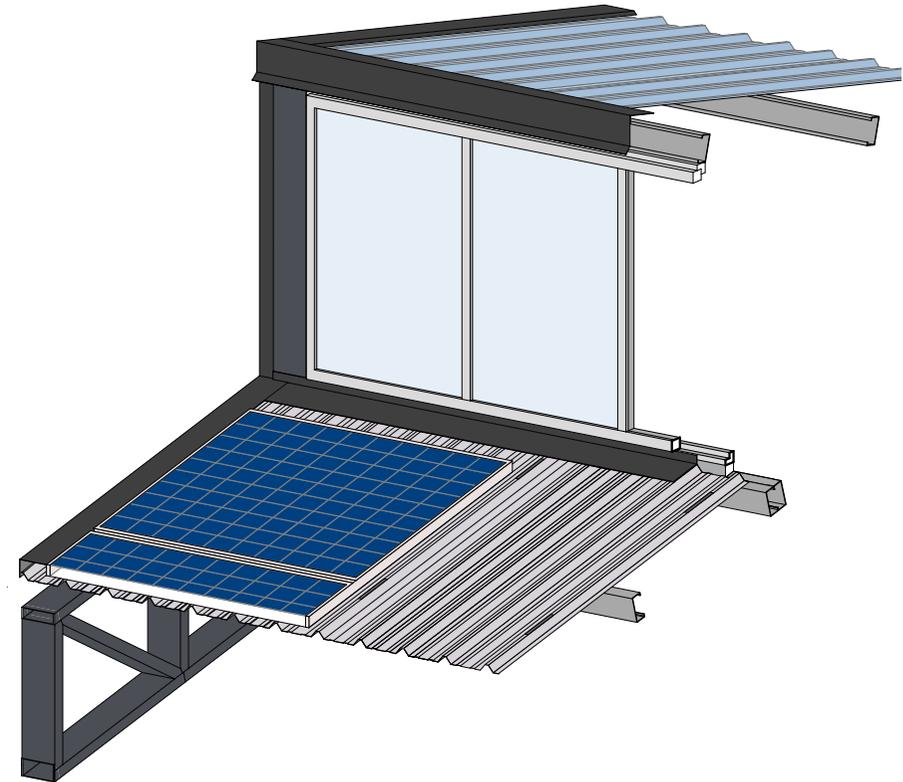
05 Módulo PV multicristalino de 60 celda de 100x160cm.

06 Remate de cierre botaguas de acero galvanizado.

07 Remate de cierre superior de acero galvanizado.

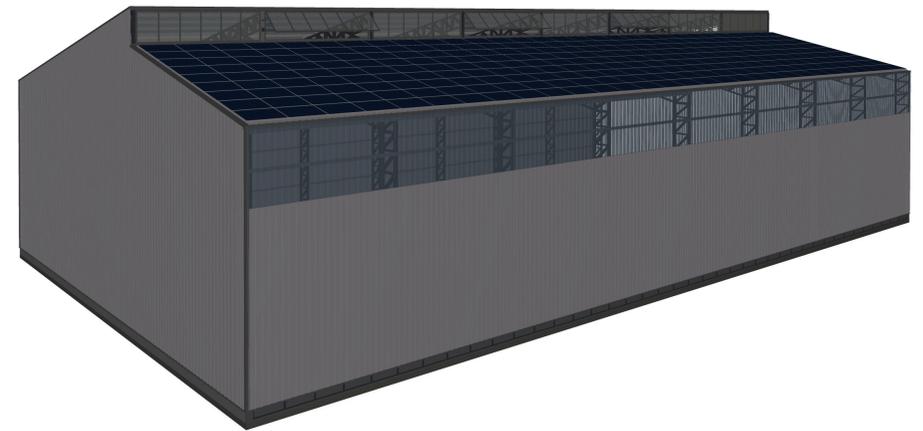
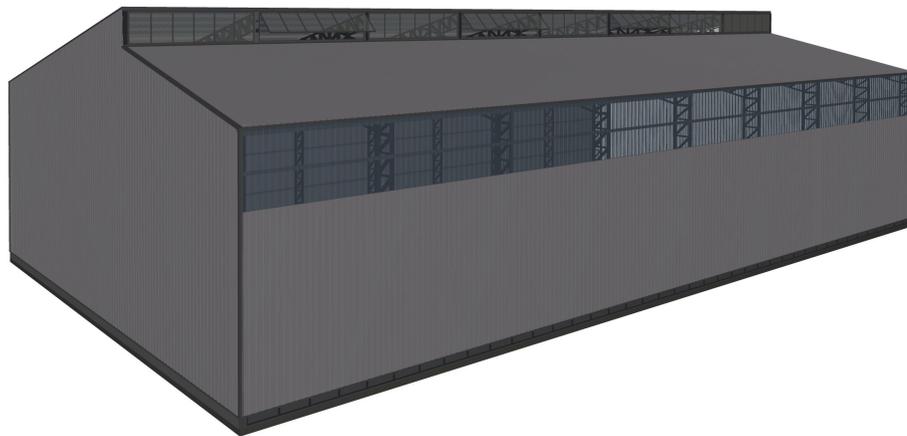
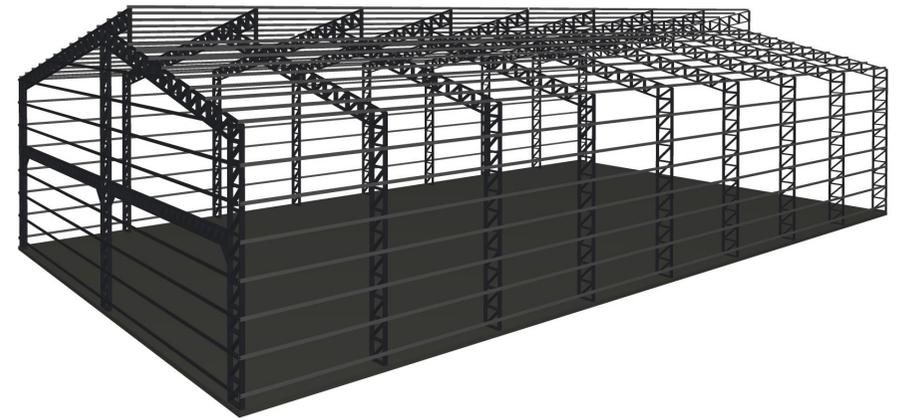
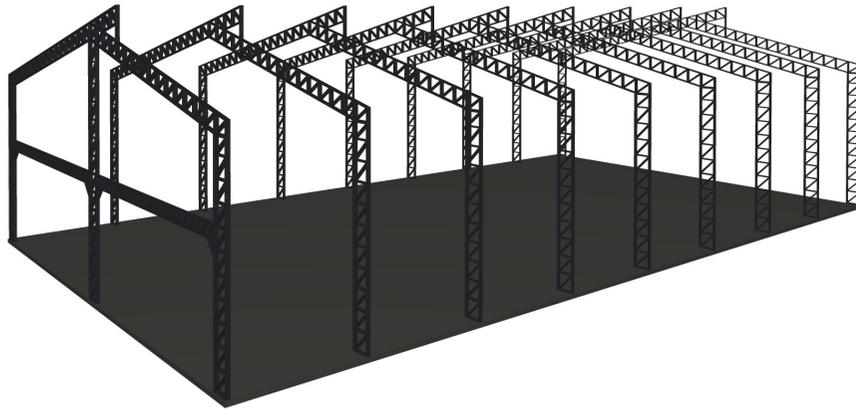
08 Sistema automático para proyección y cierre de ventana.

09 Ventana oscilante inferior de aluminio y vidrio.





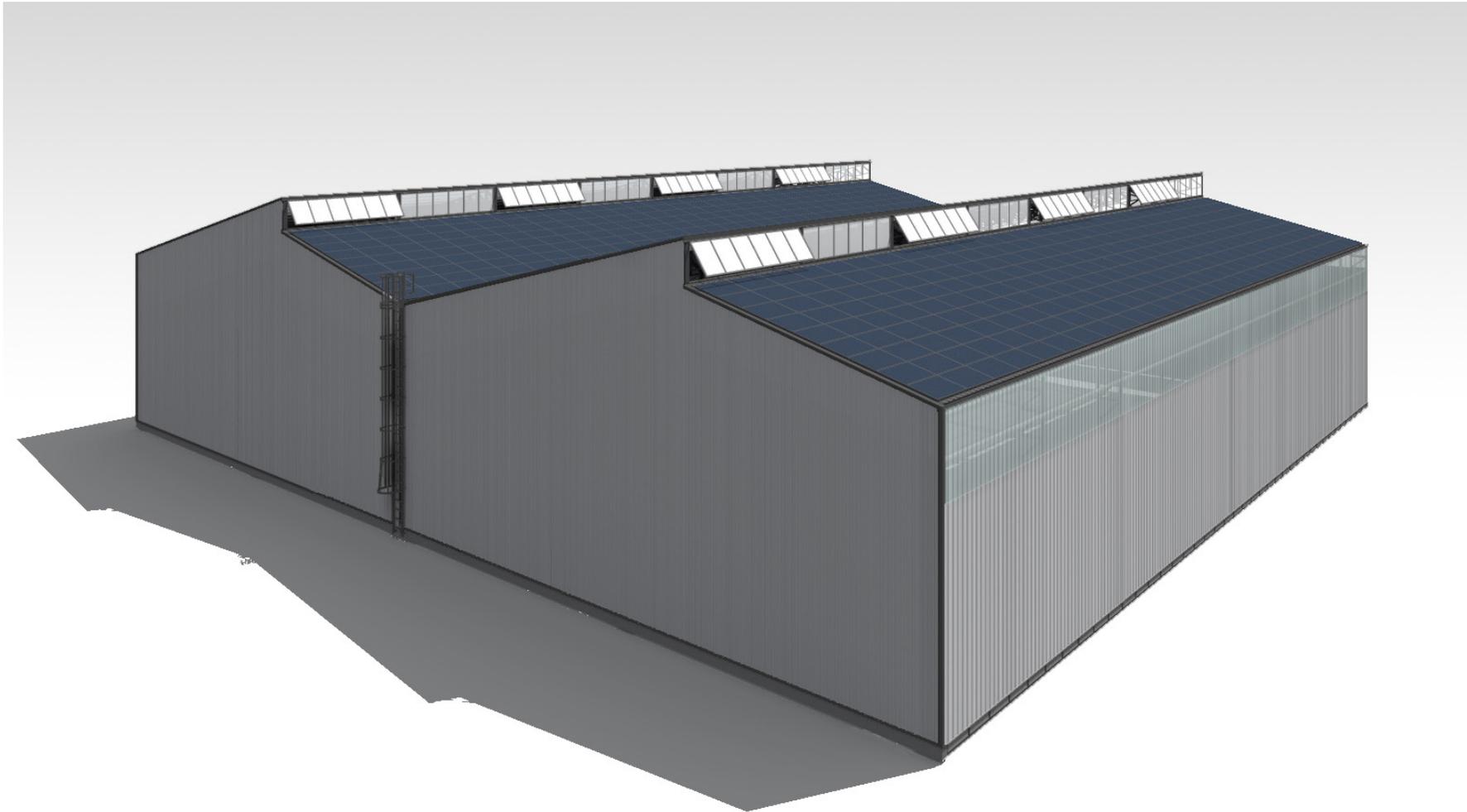
PROCESO CONSTRUCTIVO



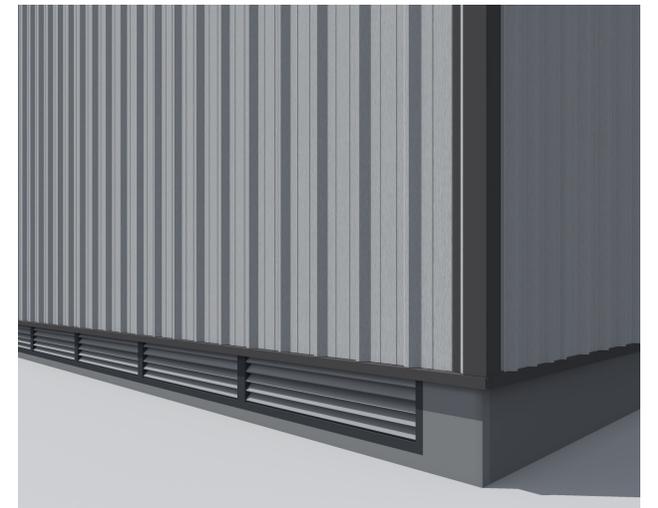
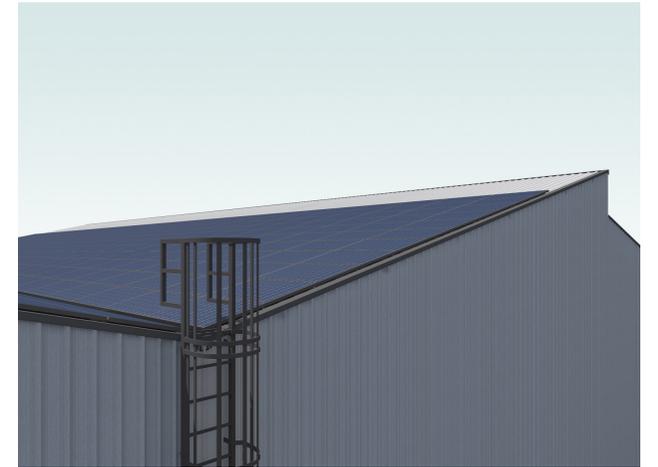
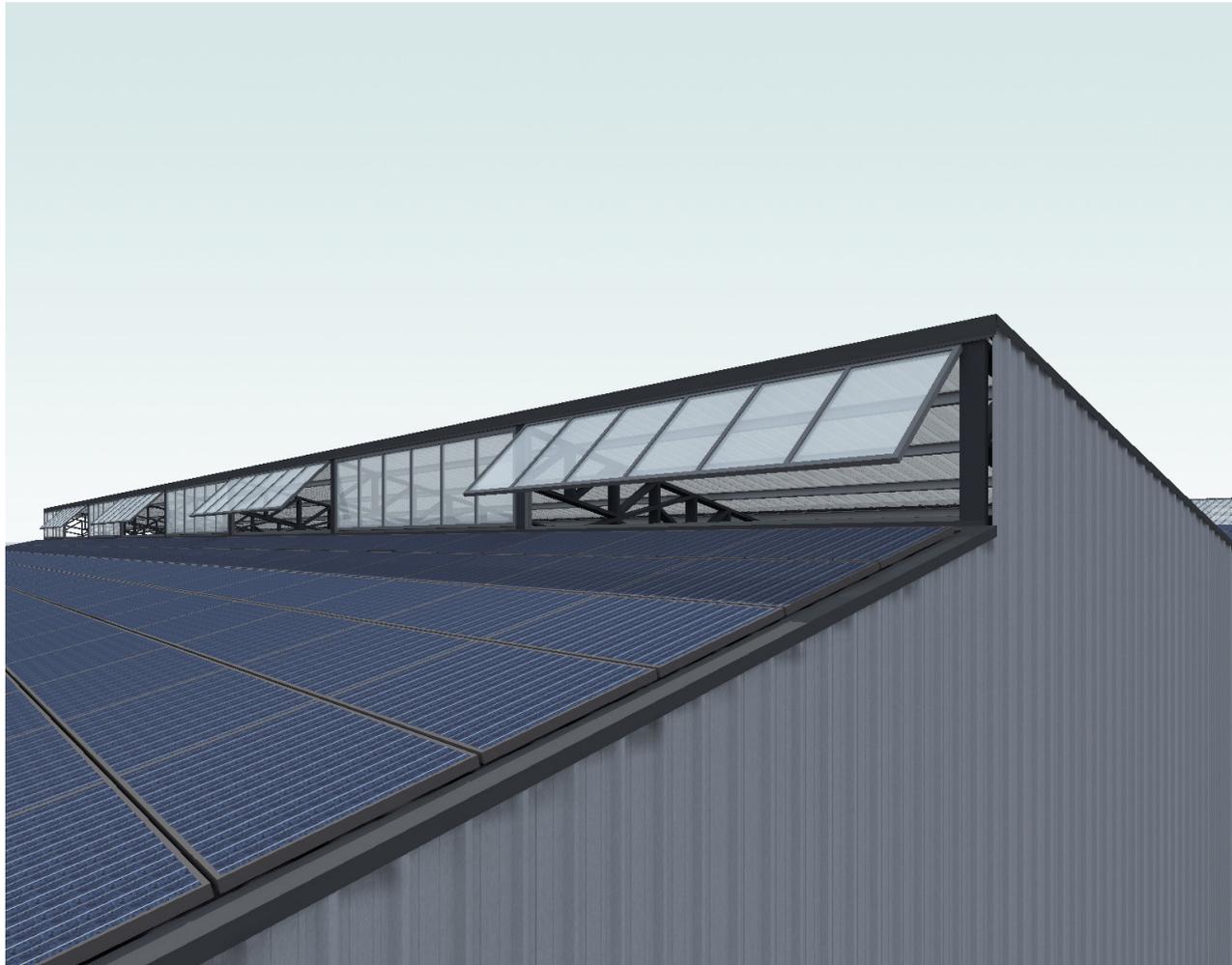
Axonometrías del proceso constructivo de la envolvente propuesta



PERSPECTIVA 1

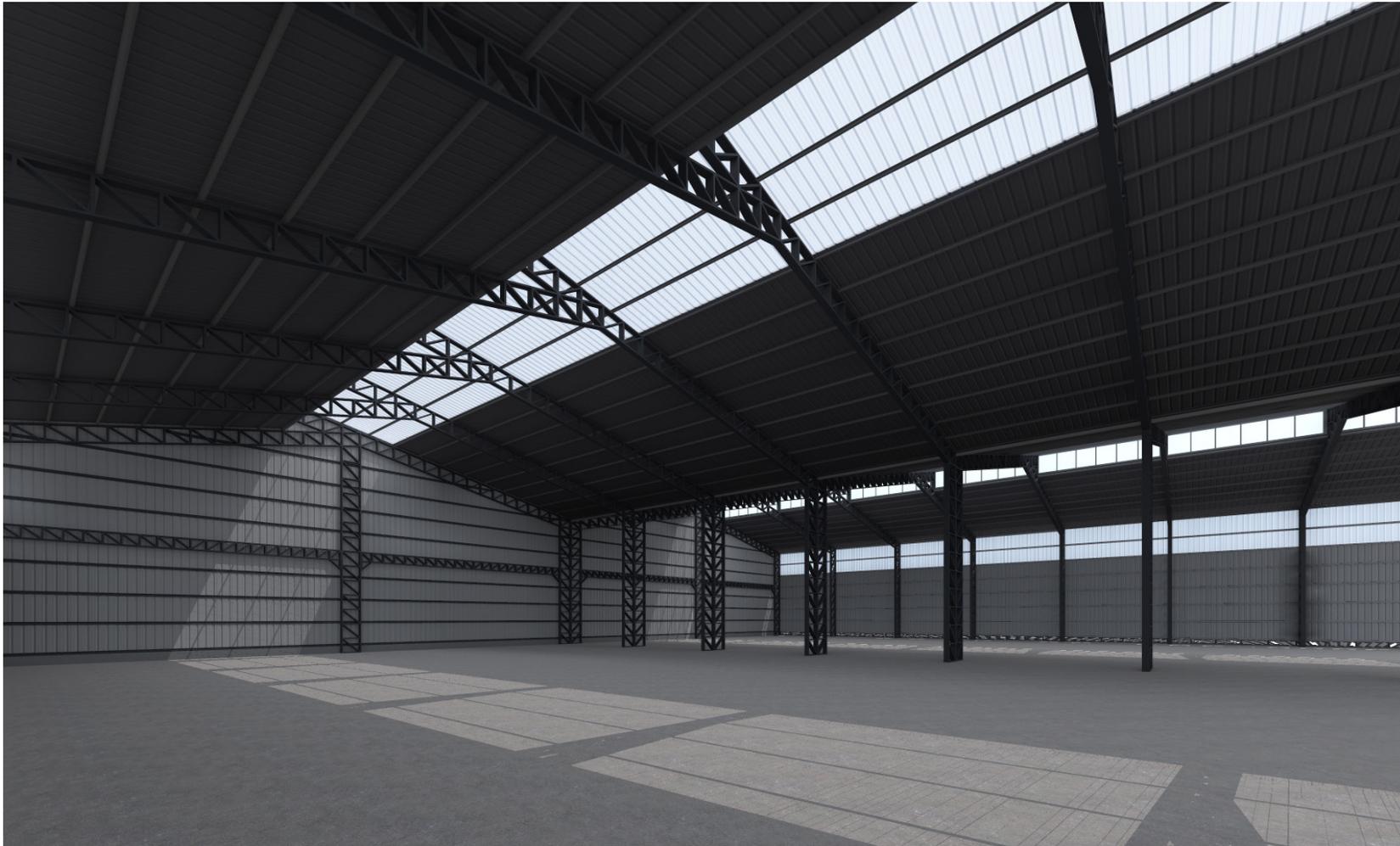


PERSPECTIVA 2

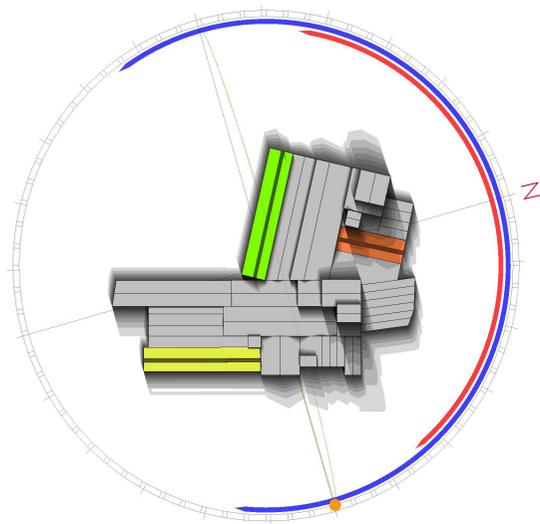




PERSPECTIVA 3



4.3.1 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ILUMINACIÓN NATURAL Y CONFORT TÉRMICO INTERIOR.



Con el objetivo de conocer si la propuesta de envolvente logra niveles de iluminación y confort térmico dentro de los rangos aceptables para industrias, se realizan simulaciones.

Cabe recalcar que los resultados son estimaciones, ya que no se toma en cuenta algunos aspectos que influyen como, color y reflectividad del material, volúmenes interiores, equipos, máquinas, etc.

CONDICIONES DE DISEÑO INTERIOR RECOMENDADOS

Los niveles de iluminación recomendados para varias actividades en edificios de fábricas de cerámicas oscilan entre 150lux para preparación, horno y prensado; hasta 1.200lux para inspección del producto (INEN,1984).

Según la NEC 11 sobre “Eficiencia Energética en la construcción en Ecuador” (NEC-11, 2011) para que exista confort térmico, las edificaciones deben mantenerse dentro de los siguientes rangos:

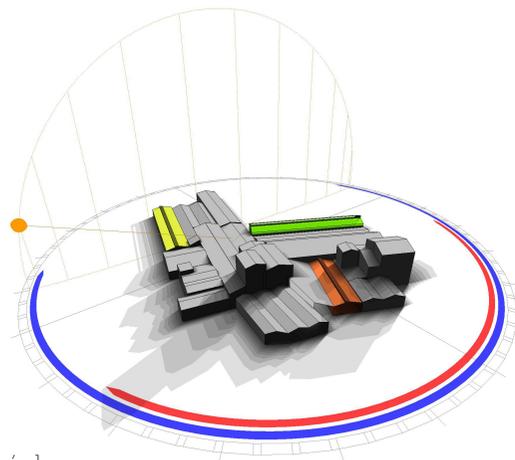
- Temperatura del aire ambiente: entre 18-26 °C
- Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s
- Humedad relativa: entre el 40% y el 65 %

ESTIMACIONES DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Debido a las distintas orientaciones de los galpones, alturas, adosamientos, la envolvente propuesta la desplegamos para tres galpones de distinto emplazamiento dentro del recinto industrial con el fin de conocer tres distintas probabilidades de iluminación natural (figura 90). Como resultado del adosamiento se elimina una o dos superficies de iluminación lateral, pero siempre se mantendrá la iluminación cenital.

Los cálculos se realizan mediante el software Ecotect Analisis 2011. Una vez modelado en 3D los galpones, se procede a determinar los planos que permiten el paso de luz y se precisa la superficie hasta la cual los rayos de luz llegarán para ser iluminados, que en este caso el piso. No se consideran las subestructuras, equipos y máquinas que albergan los galpones al interior.

Para los tres casos, se calibra latitud 2° 53' Sur, longitud 78°59' Oeste y una altitud de 2550 msnm y se introduce el valor de 16.000lux como el nivel de iluminación del cielo en Ecuador (INEN,1984). Los valores de iluminancia se calculan por hora a lo largo de un año entre las 9am-5pm.



- galpón 1
- galpón 2
- galpón 3

90. Galpones considerados para simulaciones.

RESULTADOS

GALPÓN 1

Rango: 350lux-2.780lux.

Promedio: 1.357lux

GALPÓN 2

Rango 280lux-2.400lux.

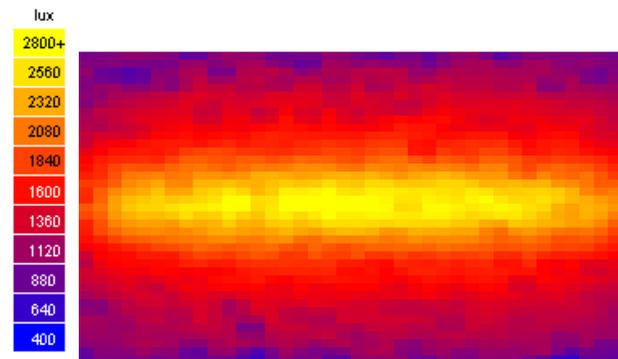
Promedio 1.022lux

GALPÓN 3

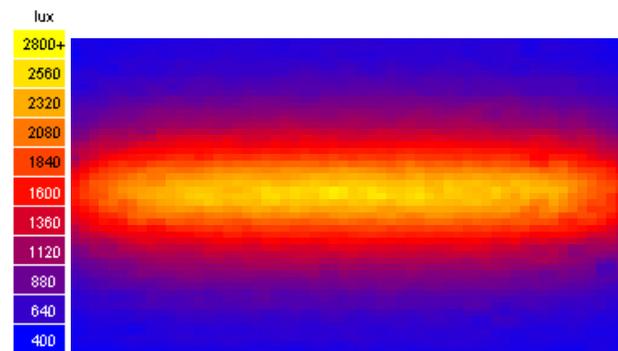
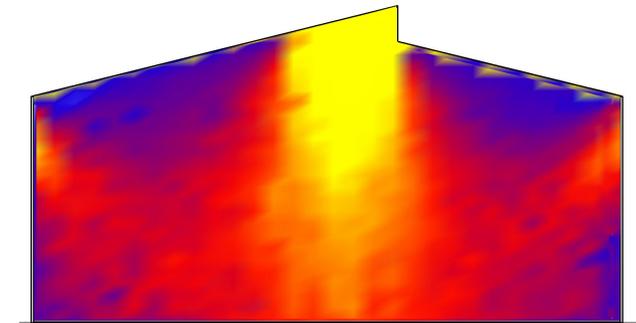
Rango: 400lux-2.850lux.

Promedio: 1.550lux

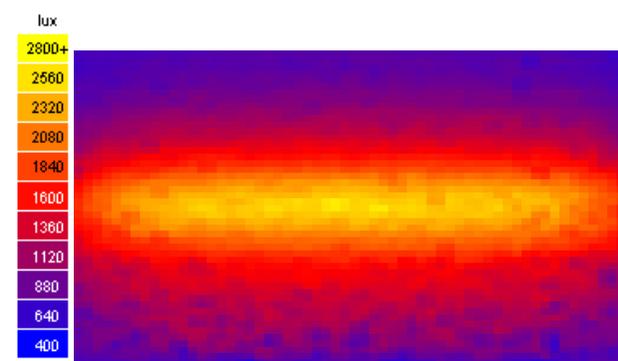
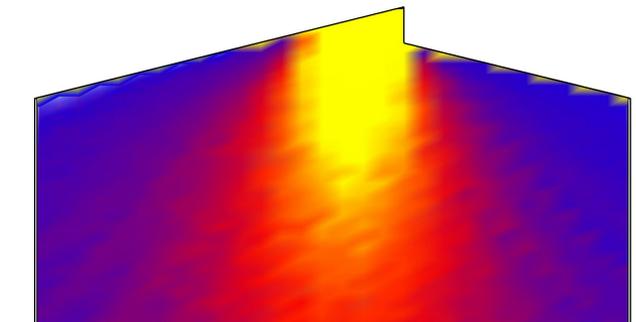
En general, los niveles de iluminación interior de los galpones, están dentro de lo recomendado. Los niveles aumentan con las ventanas laterales. Cabe recalcar que estos resultados son estimaciones y que en días nublados los niveles disminuirían.



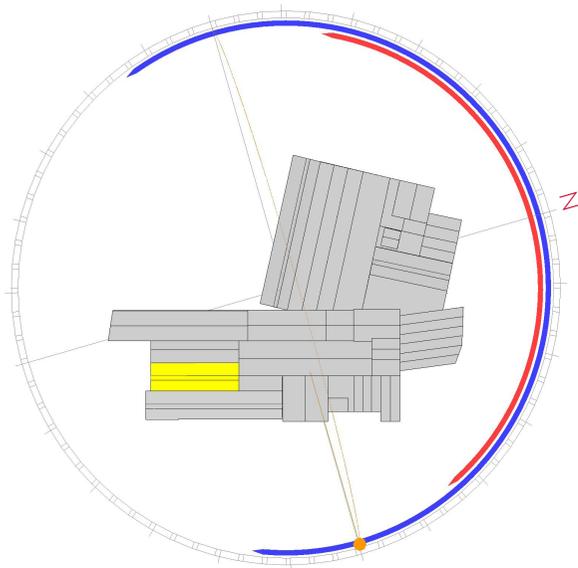
91. Galpón 1. Niveles de iluminación natural.



92. Galpón 2. Niveles de iluminación natural.



93. Galpón 3. Niveles de iluminación natural.



ESTIMACIÓN DEL CONFORT TÉRMICO

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Por la variabilidad de los ambientes y usos, estuvo fuera del alcance la posibilidad de simular con la carga térmica de los aparatos, máquinas y particiones. Se considera realizar simulaciones para un solo galpón adosado tres lados por ser el caso más común en la industria. Además se toma en cuenta, su respectivo emplazamiento para efectos de radiación solar incidente y vientos (figura 94).

Luego, a partir del modelado 3D generado en Ecotect Analysis 2011 se carga el archivo climático de la ciudad de Cuenca. Se asignan los materiales de la envolvente y los coeficientes de conductividad térmica (U) que ya viene preestablecidos en el software, según el material.

Adicionalmente se introduce parámetros conocidos y recomendados por el software que condicionan la temperatura interior del galpón:

- Cantidad de personas: 6
- Actividad: caminando (80W),
- Vestimenta: pantalón y camiseta (0,6)
- Sensibilidad del viento exterior: algo sensitivo (0,5 cambio de aire/hora)

- Infiltración del aire: ventilación cruzada
- Horario de trabajo: 24 horas de lunes a domingo.
- Sistema de ventilación: ventilación natural.
- Rango de confort: 18°C-26°C
- Ganancias térmicas por iluminación, máquinas o equipos: 0 W/m²

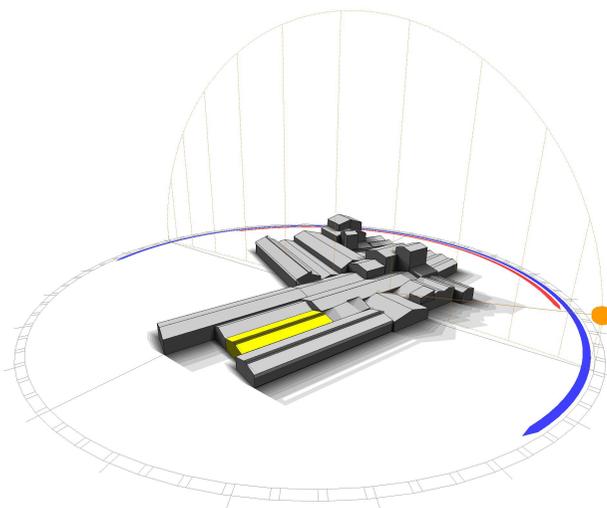
Después de este procedimiento se estima la temperatura interior del edificio durante 24 horas de un día promedio y la distribución de la temperatura anual.

RESULTADOS

En los gráficos se observa en línea negrita la temperatura interior y su banda de confort en franja blanca. En cambio, con franja graduada de color rojo, se considera demasiado cálido y superior a la zona de confort, mientras que en franja azul demasiado frío e inferior a la zona de confort.

Entonces, el día promedio (figura 95), muestra que desde las 8:00am hasta las 20:00pm el interior del galpón se mantiene dentro del confort térmico. El resto de horas no lo está y la temperatura más baja alcanzada es 15°C.

El gráfico de la distribución de temperatura



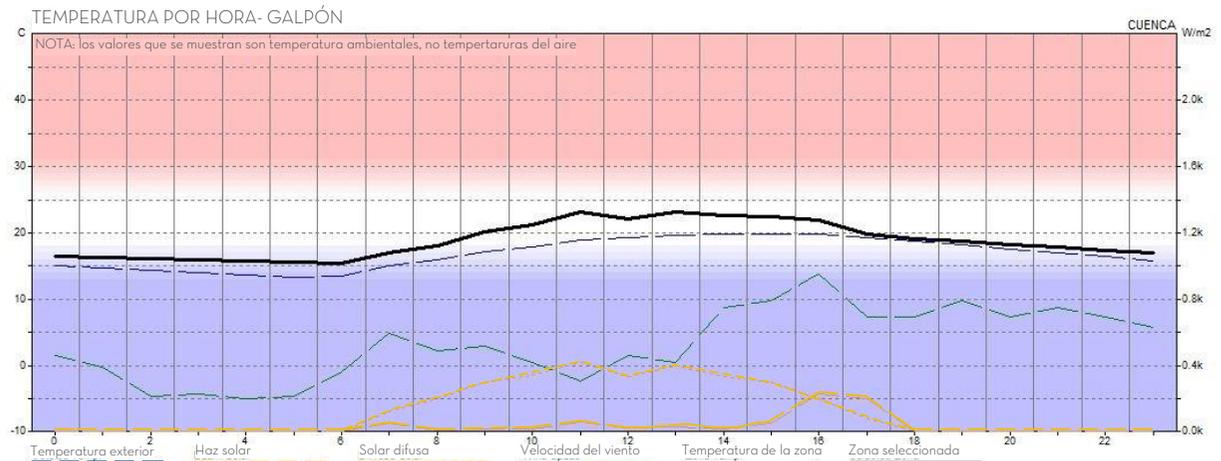
■ galpón considerado

94. Galpón considerado para la simulación de confort térmico.

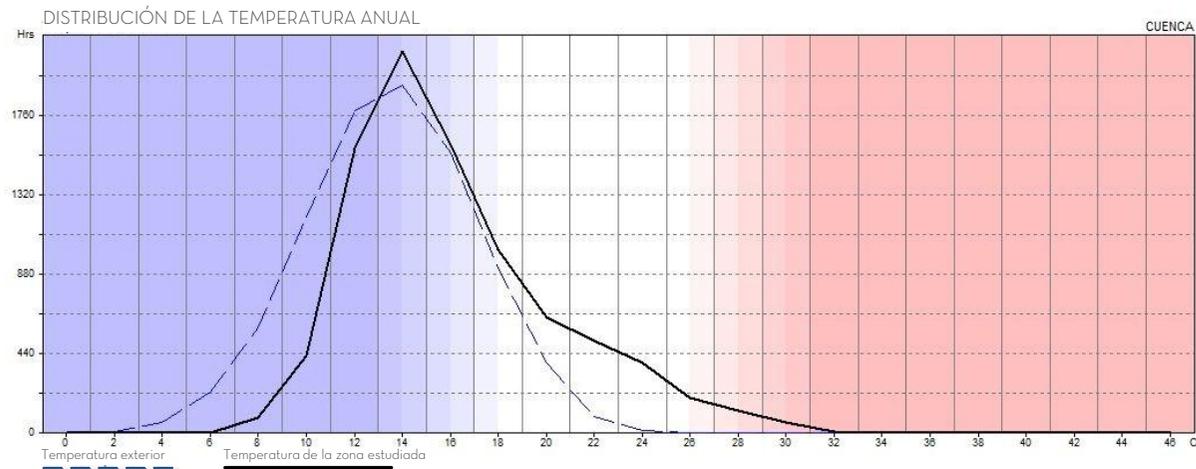
anual en el interior del galpón (figura 96), indica que el 33,4% de las horas en el año, está dentro del confort, 63,4% está por debajo de confort (frío) y el 3,2% superior al confort (calor).

Con estos resultados notamos que el material de la envolvente influye mucho en el confort térmico ya que este tiene un valor U alto y no ofrece resistencia al paso de calor, por consiguiente, la temperatura interior tiende a la temperatura exterior. Otra desventaja del material es que no tiene suficiente inercia térmica como para acumular calor durante el día y liberarlo por la noche. Por lo que, no permite el retardo de la temperatura interior respecto a la exterior.

Sin embargo, estos resultados pueden variar al tomar en cuenta el calor producido por las máquinas de proceso, como el horno, que funciona las 24 horas y sirve como calefacción pasiva en el galpón que lo alberga.



95. Temperatura día promedio.



96. Distribución de la temperatura anual.

4.4 PROPUESTA DE ENVOLVENTE PARA EL RECINTO GRAIMAN

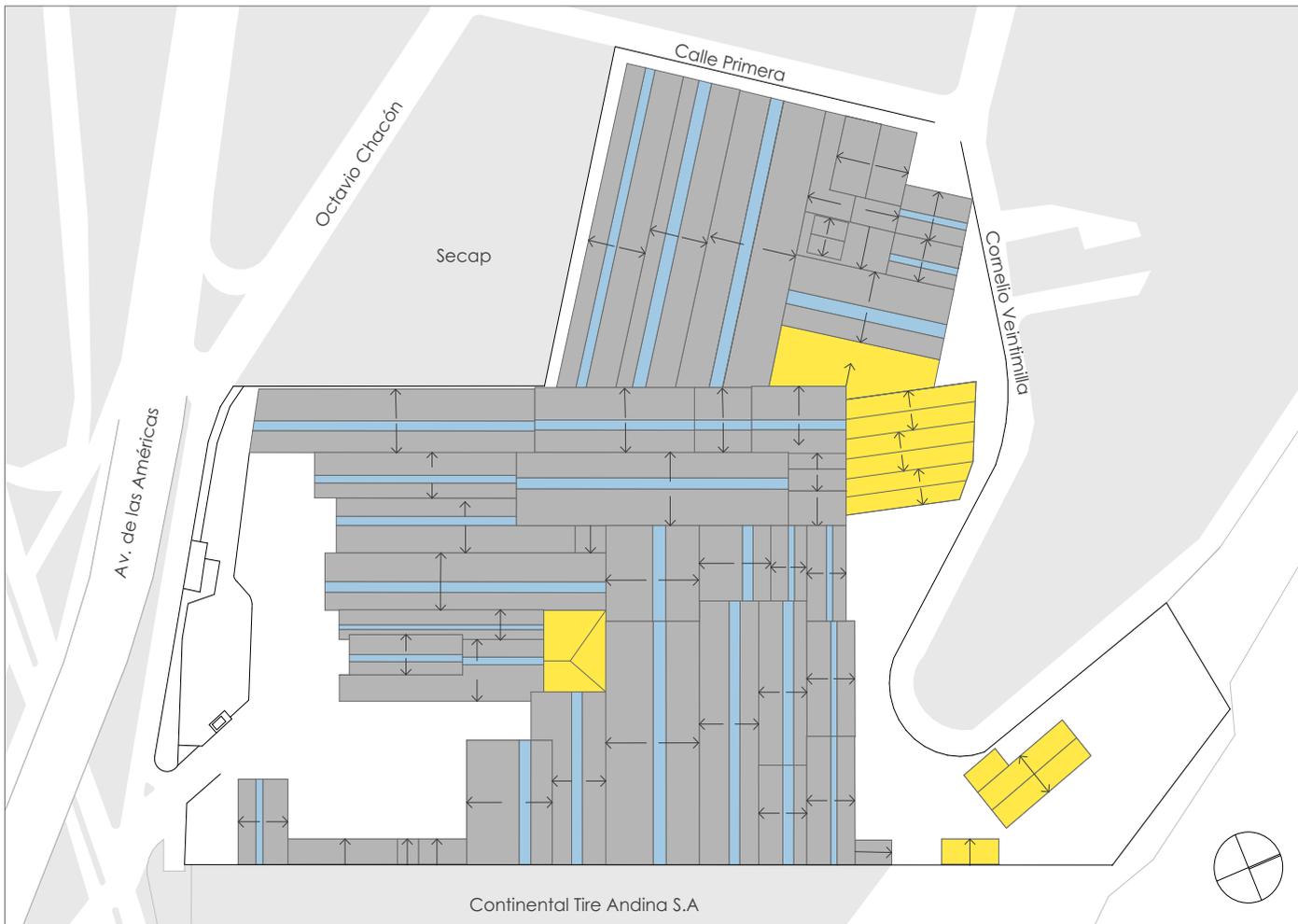


97. Propuesta de envoltente para todo el complejo Graiman.

Para estimar el potencial PV y de autoabastecimiento eléctrico que tienen las superficies de techumbre, se considera replicar la envoltente propuesta en todas las edificaciones del complejo Graiman (figura 97). Sin embargo, existen edificios que por su estructura, cubierta curva o elementos arquitectónicos, no es posible aplicar la propuesta. Por otra parte, existen galpones que son ampliaciones de otros y su techumbre es de un faldón, siendo un modelo diferente a los analizados pero factible aplicar colectores PV superpuestos, no obstante, no podríamos ventilar, ni iluminar el galpón al no crear la cubierta diente de sierra (figura 98).

Todos los galpones son adosados, pero las distintas alturas de los edificios industriales favorecen para mantener la iluminación lateral en ciertos galpones. Los edificios que contienen las tolvas y atomizadores no se coloca la iluminación cenital, debido a que estos grandes equipos bloquean parcialmente la irradiación directa.

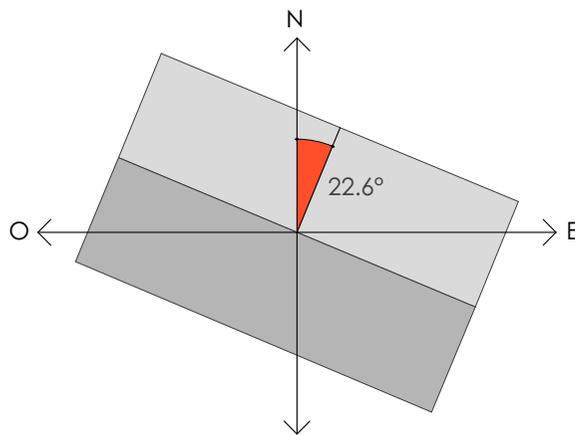
En los edificios que ingresan vehículos que generalmente son bodegas, se elimina el recubrimiento en la fachada de acceso. Con la propuesta se aporta iluminación y ventilación para la mayoría de los edificios del recinto Graiman.



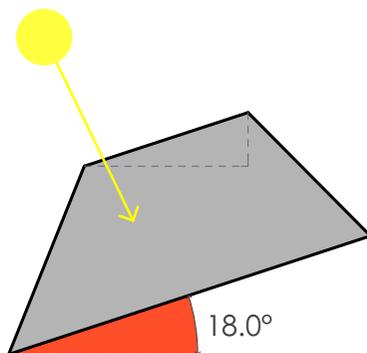
SIMBOLOGÍA

- Paneles Fotovoltaicos
- Cubierta translúcida
- Galpón sin modificación

98. Planta de cubiertas de la envolvente propuesta a todo el complejo Graiman.



99. Ángulo de Orientación_Azimut



100. Ángulo de Inclinación.

4.4.1 ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA CON PV

MATERIALES Y METODOLOGÍA

A partir de la propuesta de edificio industrial para todo el recinto Graiman, se dimensionan los faldones y se clasifican por su orientación e inclinación (figura 99-100-101). Luego, se coloca la cantidad factible de paneles PVs de 60 celdas, en cada faldón. El ángulo de orientación o azimut de los PV se mide entre el norte y la perpendicular de cada faldón, en sentido a las agujas del reloj. Se obtiene la superficie de PV con su respectiva orientación e inclinación.

Posteriormente, se determinan porcentajes de sombras en los faldones, a través de modelos 3D generados en Ecotect Analisis 2011 y se ejecutan análisis horarios. Se considera las volumetrías propias del recinto Graiman.

Para las simulaciones de productividad PV se calibra en System Advisor Model (SAM) NREL, (2017), la inclinación, orientación, se carga el archivo climático y el archivo del estudio previo del rendimiento de las placas de sílice multicristalino (Izquierdo & Pacheco, 2017). Con este procedimiento se obtiene un rendimiento estimado de producción para el año 2016 por m^2 , de manera horaria y en concordancia a inclinación y orientación.

Se determina el resultado absoluto de la producción anual, mensual, diaria y horaria frente a demandas. Se comparan producciones y demandas absolutas, así como en condiciones de días de máxima y mínima irradiación, frente a días de máxima y mínima demanda.

PROCESO Y RESULTADOS

Superficie de PV.

Para esto se modela tridimensionalmente con la herramienta BIM Archicad 19 de Graphisoft cada edificio industrial y a través de texturas representativas (Hatches) de dimensiones de las placas PVs de 60 celdas se calcula la ocupación geométrica factible de PV por faldón. Siendo el 90.41% de paneles PVs instalables, respecto al área total de cubiertas. El área total de PV es $48.241,35m^2$. La tabla O5 muestra agrupadas, las áreas de techumbre con su respectiva orientación e inclinación.

Áreas sombreadas.

Mediante modelo 3D en Ecotect Analisis 2011, realizamos una simulación de sombras con el fin de detectar los porcentajes de sombras de cada faldón horariamente. Se analizan los días extremos de solsticio, el 21 de junio y 21 de diciembre. Estos días son donde la posición del sol vista desde la Tierra alcanza los extremos



ORIENTACIÓN DE TECHUMBRES
(ÁNGULO RESPECTO AL NORTE)

- 292°
- 112°
- 22°
- 202°
- 34°
- 215°
- 124°
- 304°

101. Orientación, con respecto al norte, de las cubiertas del complejo industrial Graitman.



Superficie de Paneles PV			21 de junio (21 marzo- 21 septiembre)		21 de diciembre (21 septiembre-21 marzo)	
Azmut	Inclinación	Área Total (m ²)	Area sombreada	Area sin sombra	Area sombreada	Area sin sombra
215 °	18°	4.432,16	1.369,07	3.063,09	439,46	3.992,70
	14°	929,61	-	-	929,61	-
124 °	18°	1.100,81	986,75	114,06	616,05	484,76
	9°	318,91	318,91	-	318,91	-
34°	18°	3.949,28	3.297,04	652,24	1.576,38	2.372,90
	14°	1.532,42	-	-	-	-
22°	15°	2.044,47	1.360,48	683,99	1.414,58	629,89
	17°	860,94	-	-	699,92	161,02
	9°	351,43	-	-	-	-
	10°	1.873,57	-	-	-	-
	12°	556,22	-	-	-	-
	11°	715,59	-	-	-	-
112°	21°	139,13	-	-	-	-
	15°	4.545,81	4.413,02	132,79	2.279,52	2.266,29
	13°	1.922,35	-	-	834,74	1.087,61
	11°	1.024,66	-	-	-	-
	16°	1.147,44	-	-	-	-
202°	15°	3.658,89	1.577,31	2.081,58	-	-
	9°	2.111,57	-	-	-	-
	17°	993,12	473,02	520,10	-	-
	12°	794,70	-	-	-	-
	10°	2.040,38	-	-	-	-
292°	6°	729,36	-	-	-	-
	15°	5.553,36	3.090,79	2.462,57	3.599,12	1.954,24
	11°	244,37	-	-	-	-
	13°	2.988,61	-	-	2988,61	-
304°	18°	1.682,19	1.030,63	651,56	1.314,63	367,56
Área Total		48.241,35 m ²	-	-	-	-

Tabla O4. Superficie PV sombreada y sin sombra.

hacia los hemisferio norte y sur, por lo que serían los días donde se proyectaría más sombra o menos sombra dependiendo de las volúmenes.

Es necesario determinar el porcentaje diario de sombras de todo el año, para efectos de estimación, las sombras del 21 de junio las aplicamos para los meses desde el 21 de marzo hasta el 21 de septiembre y las sombras del 21 de diciembre para los seis meses restantes, del 21 de septiembre al 21 de marzo. Se considera estos días por tratarse de los solsticios y en las franjas cercanas a la línea ecuatorial, es cuando la altura solar presenta mayor desvío respecto al cenit perpendicular. Se analizan las condiciones extremas, por lo que, los niveles de sombreado reales estarían sobredimensionados para la totalidad del año; en consecuencia el escenario de sombreado es absolutamente pesimista (tabla O4).

La simulación se hace desde las 6am hasta las 18pm. Se identifica cada faldón sombreado y en cada hora se observa cuanta porción está sombreada con respecto a todo el faldón. Con este porcentaje de sombra, obtenemos el área sin irradiación solar directa que producirá solo el 30%.

Los resultados muestran que, en pocos faldones

los más desfavorables, después de las 16pm las sombras superan el 95% y entre las 10am hasta 14pm la sombra no supera el 25%.

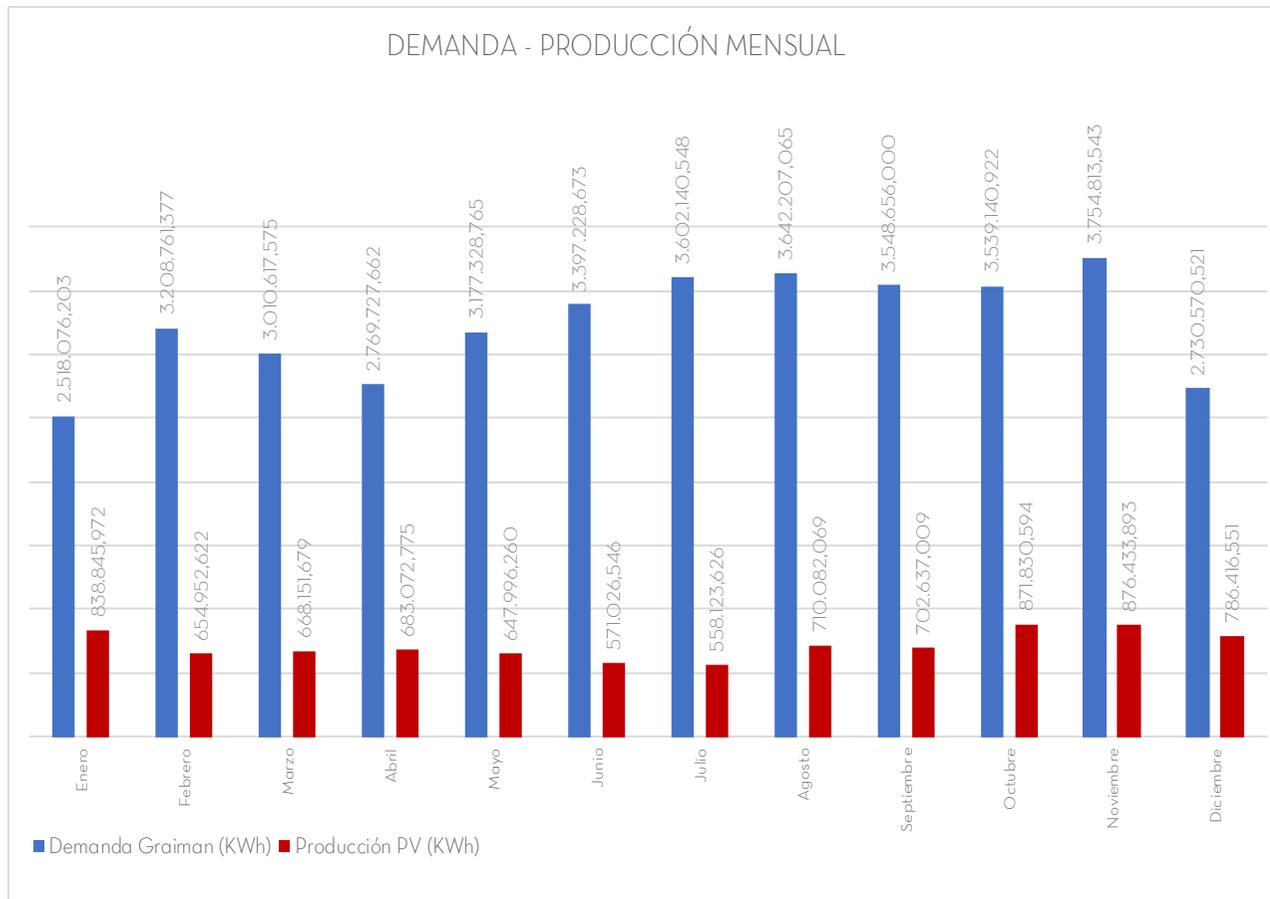
Para obtener la producción total, se suma la producción del área en sombra más la producción del área no sombreada. Las producciones con área sombreada, se considera con rendimiento respecto a radiación difusa. El rendimiento PV se estima a través de simulación por m² de placa PV considerada la orientación e inclinación que responden a lo detectado en los faldones del complejo industrial, y se multiplica por la superficie disponible de faldones. La simulación se realiza en software SAM. Si bien no se obtiene un rendimiento real porque influiría aspectos de instalación, pérdida por convertidores y efectos de sombras; que están solamente estimados, se prevé obtener magnitudes de predimensionamiento como estimación.

PRODUCCIÓN - DEMANDA MENSUAL

Al comparar la producción y demanda mensual, el potencial PV se muestra con regularidad, frente a las oscilaciones más pronunciadas sobre las demandas. Los meses con máxima y mínima demanda son noviembre y enero respectivamente. Mientras que, el mes con máxima producción es noviembre 876.433,893 KWh y mínima producción es julio 558.123,626KWh (figura 102).

Superficie de Paneles Fotovoltaicos		
Orientación	Área (m ²)	Inclinación
215 °	4.432,16	18°
	929,61	14°
124 °	1.100,81	18°
	318,91	9°
34°	3.949,28	18°
	1.532,42	14°
22°	2.044,47	15°
	860,94	17°
	351,43	9°
	1.873,57	10°
	556,22	12°
112°	715,59	11°
	139,13	21°
	4.545,81	15°
	1.922,35	13°
202°	1.024,66	11°
	1.147,44	16°
	3.658,89	15°
	2.111,57	9°
	993,12	17°
292°	794,70	12°
	2.040,38	10°
	729,36	6°
	5.553,36	15°
304°	244,37	11°
	2.988,61	13°
	1.682,19	18°
Área Total	48.241,35 m²	

Tabla O5. Área de PV con su orientación e inclinación.



Considerando que la sobreproducción en ciertas horas de enero (figura 103) pueda ser hipotéticamente almacenada virtualmente en la red pública, la energía PV llega a cubrir el 33,31% de la demanda, siendo el mes con mayor abastecimiento. Por el contrario, el mes con el menor abastecimiento es julio con el 15,49%; coincidiendo con mes de menor irradiación. Al obtener la producción promedio mensual (714.130,8KWh) vemos que se logra suplir el 22,03% de la demanda promedio.

En cuanto al mes de máxima irradiación; noviembre, al ser también el mes de mayor demanda, se abastece el 23,34%, sin mucha diferencia respecto al promedio.

Cerámicas Graitman		
Mes	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Enero	2.518.076,20	838.845,97
Febrero	3.208.761,38	654.952,62
Marzo	3.010.617,58	668.151,68
Abril	2.769.727,66	683.072,77
Mayo	3.177.328,77	647.996,26
Junio	3.397.228,67	571.026,55
Julio	3.602.140,55	558.123,63
Agosto	3.642.207,07	710.082,07
Septiembre	3.548.656,00	702.637,01
Octubre	3.539.140,92	871.830,59
Noviembre	3.754.813,54	876.433,89
Diciembre	2.730.570,52	786.416,55
TOTAL	38.899.268,86	8.569.569,59

Tabla O6. Demanda y producción mensual de electricidad.

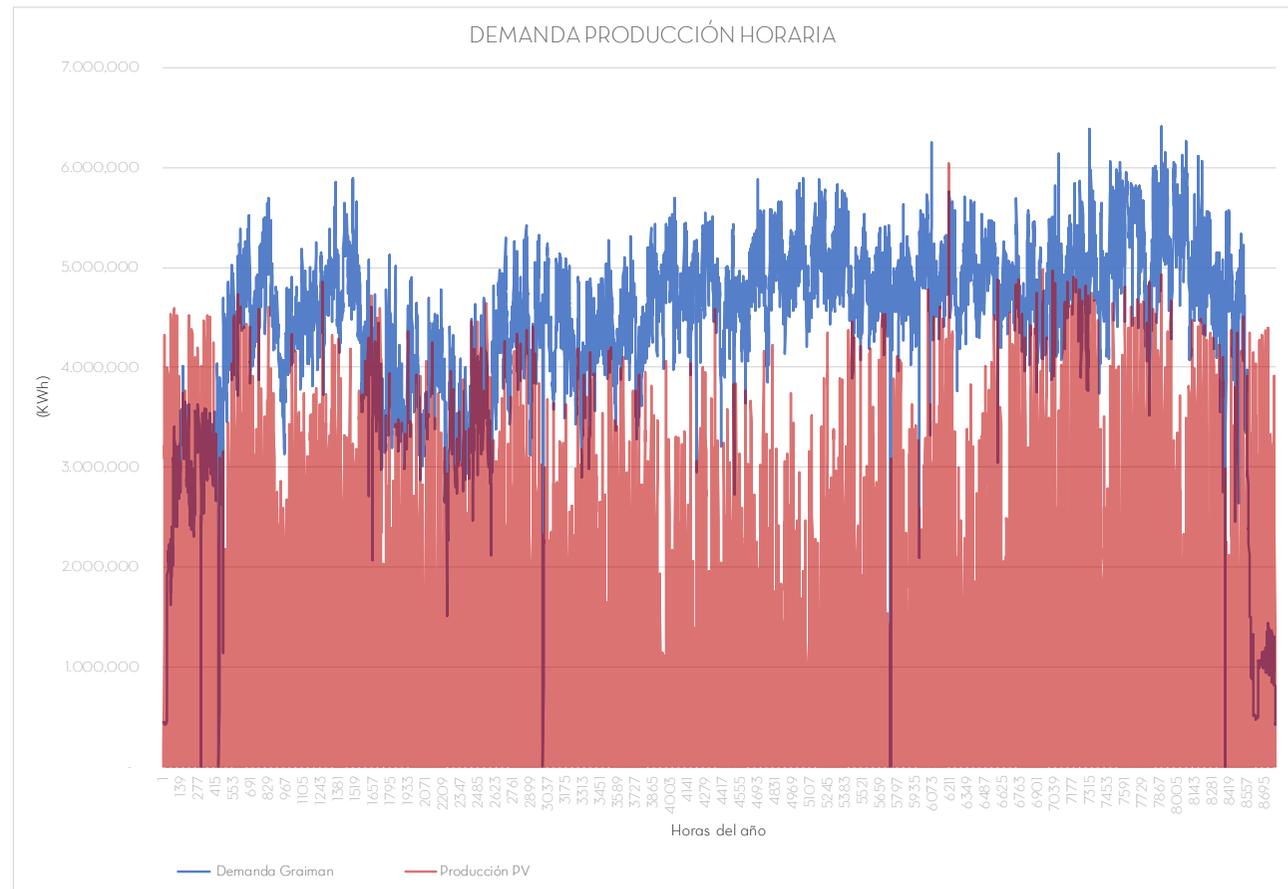
102. Comparación mensual entre demanda energética frente producción PV.

PRODUCCIÓN -DEMANDA HORARIA

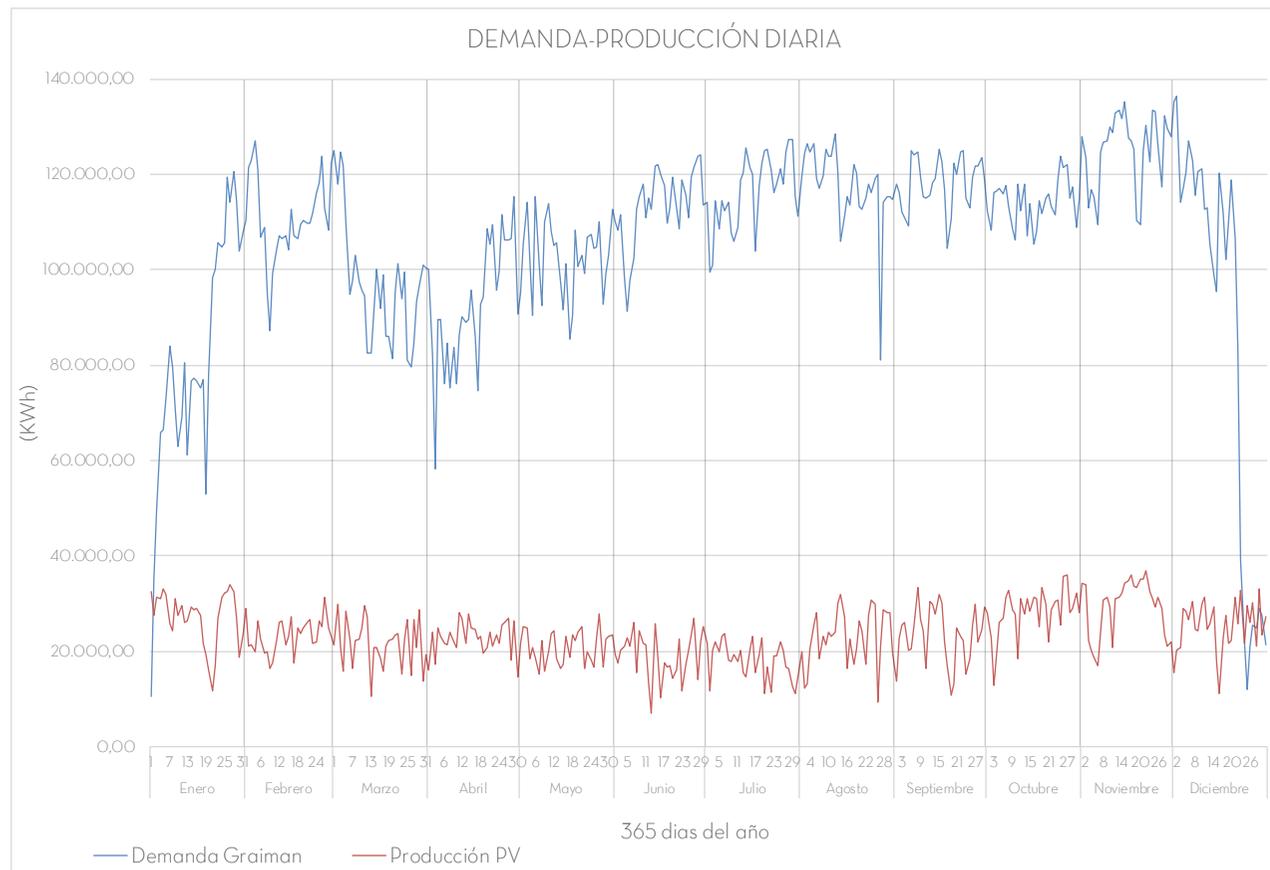
En el gráfico 103 de producción-demanda característica diaria, puede observarse que ciertas horas de los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, la producción supera la demanda; entre las 8am y 14pm. Los días donde existe sobreproducción o disminución en la demanda, en base a fechas, es cuando la planta entra en período de receso programado

La sobreproducción total de 289.960,580KWh, debería ser absorbida por la red urbana y redistribuirse a otros sectores de la ciudad, pero el país no cuenta con políticas que permiten aprovechar el excedente energético o recibir pagos por los excedentes generados vertidos a la red pública o utilizar la red como una batería virtual.

Si bien el no es posible la compraventa de energía en el país, nuestra propuesta funcionaría conectada a la red local. En el futuro se prevé la posibilidad de sistemas de almacenamiento eléctrico con baterías de litio, durables y cada vez más económicas, con lo que podría lograrse cierta dependencia parcial de la red eléctrica urbana. También se podría abastecer con los excedentes a camiones o montacargas eléctricos, cargándolos durante el día y así evitar vender la electricidad a la red.



103. Variación horaria de producción-demanda a lo largo del año.



PRODUCCIÓN - DEMANDA DIARIA

De acuerdo al gráfico 104 son 6 los días donde la producción supera la demanda; cinco últimos días del mes de diciembre y el primer día de enero. Los demás días la demanda supera la producción 84.532 KWh en promedio. La producción prevista promedio diaria es 23.484,84 KWh, con lo que la energía PV podría suplir el 22,09% de la demanda promedio diaria.

Si bien la producción es poca para abastecer a la industria; considerando un consumo promedio diario de energía eléctrica por hogar en la zona urbana de Cuenca de 8,12 KWh por vivienda (ARCONEL, 2016) se puede cubrir el consumo de 2.900 hogares al día. Por otra parte, considerando el consumo promedio diario por habitante de Cuenca de 2,05 KWh (ARCONEL, 2016), se puede cubrir el consumo de 11.600 personas aproximadamente; siendo una alternativa importantísima para complementar la demanda eléctrica urbana.

Se puede identificar el día de mayor demanda (2 de diciembre), mayor producción (22 de noviembre), mínima demanda (1 de enero), mínima producción (13 de junio), para posterior análisis de días extremos.

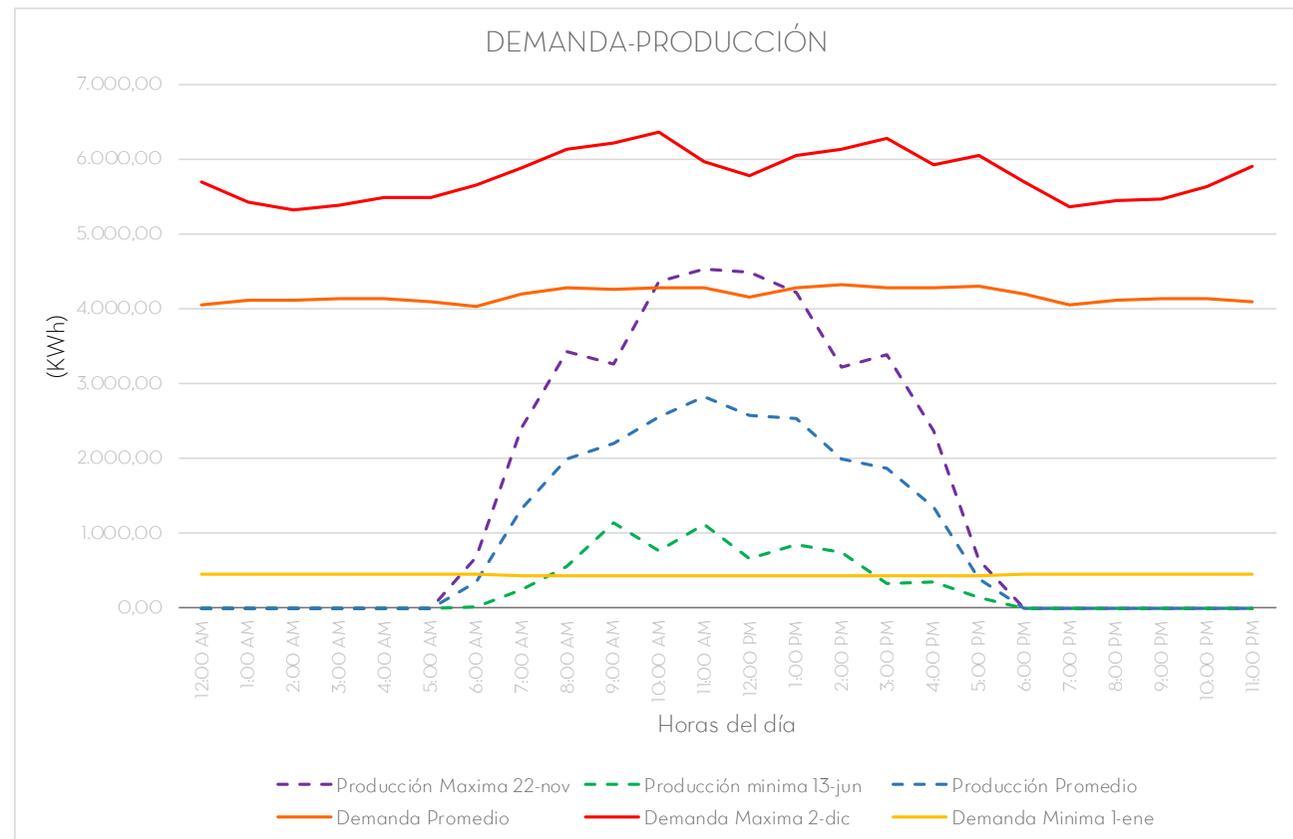
104. Demanda diaria neta frente a producción diaria neta.

POTENCIAL ABASTECIMIENTO DE DÍAS CARACTERÍSTICOS EN MESES EXTREMOS DE MÁXIMA Y MÍNIMA IRRADIACIÓN.

Se analizan situaciones de producción-demanda en días extremos de meses de mayor y menor disponibilidad de irradiación (figura 105). Al comparar la producción solar diaria del 22 de noviembre (36.978 KWh), día de máxima irradiación, frente al día de máxima demanda y demanda promedio alcanzaría el 26,67% y 36,87% respectivamente. Si se compara el día máxima producción (máxima irradiación) con el día de menor demanda, existe una sobreproducción de más de tres veces (347,37%).

Por otra parte, el día de mínima irradiación, 13 de junio (6.925 KWh: mínima producción) frente a la demanda máxima y promedio, se abastece 5% y 6,9% respectivamente. Comparando con la mínima demanda la producción supliría el 65,05% (tabla O6).

También se encontró que la producción del día de máxima irradiación produciría 5,3 veces más que el día de mínima irradiación.



105. Comparación demanda-producción en días extremos.



Porcentaje de abastecimiento_ Noviembre	
Producción Máxima/Demanda Promedio	36,86%
Producción Máxima/Demanda Máxima	26,67%
Producción Máxima/Demanda Mínima	347,37%

Porcentaje de abastecimiento_Junio	
Producción Mínima/Demanda Promedio	6,90%
Producción Mínima/Demanda Máxima	5,00%
Producción Mínima/Demanda Mínima	65,05%

Producción Promedio/Demanda Promedio	21,88%
--------------------------------------	--------

Tabla 07. Porcentaje de abastecimiento PV en días extremos.

BENEFICIOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

Desde el punto de vista económico, según PRO-VIENTO y ENERPRO de empresas de comercialización, asesoría e instalación de sistemas de energía renovable, con sede en Quito, el precio del panel PV policristalino de 60 celdas de 1,65x0,95m (1,56m²) es \$300 con una vida útil 25 años. Entonces, el costo de la instalación PV de 48.241m² sería aproximadamente \$9.037.500. Este precio no contemplan el transporte ni los inversores por lo que el precio podría ser mayor. Cabe mencionar que la energía PV se encuentra en constante baja de precio. Un análisis de rentabilidad detallada va más allá de este estudio.

El costo promedio de la electricidad para la industria en Ecuador es de 0,083 USD el kWh (ARCONEL, 2018), por tanto en 25 años; que es el periodo de vida de la instalación PV, podría ahorrarse \$17.803.280,83 (\$712.131,23 al año). Actualmente en el país no es posible la compra venta de energía autogenerada, pero existen emprendimientos privados que venden electricidad al Sistema Nacional Interconectado, como el caso del huerto solar de Balsolar en Pimampiro (Imbabura), a 0,40 USD por kWh (El Comercio, 2014).

Por otra parte, se puede reducir aproximadamente 73.397,5 toneladas de CO₂ en 25 años (2.935,9 TCO₂ al año), según el valor más reciente de factor de emisión de CO₂ del Sistema Nacional Interconectado, (fuentes renovables, no renovables e importación), que es de 0,3425 TCO₂/MWh; año 2014 (Parra, 2015). En cambio si se considera el valor de emisión de 0,6945 TCO₂/MWh (Haro & Oscullo, 2016), que es solamente para fuentes termoeléctricas en Ecuador, se reduce 137.29 toneladas de CO₂ durante los 25 años de vida de la instalación PV (5.951,56 TCO₂ al año).

El promedio anual de producción de Hidropaute es alrededor de 6.000 GWh (considerando Mazar y Molino), lo cual abastece aproximadamente al 30% de la demanda de energía del país (CELEC, 2013); con la producción PV en 25 años (214,24 GWh) se podría ahorrar 13 días de generación de estas hidroeléctricas. Por otra parte, considerando la producción anual PV de 8,57 GWh, se necesitaría aproximadamente 700 industrias de la misma magnitud de producción PV que Graiman, para igualar la producción de Hidropaute.

CONCLUSIONES

Con el fin que el trabajo sea significativo y debido a que se enfoca en la eficiencia energética y el uso de energías limpias; para la propuesta se parte de los edificios industriales existentes, procurando así, reducir el consumo de energía ocasionado por la construcción de una nueva edificación. Lo que nos lleva al diseño de la envolvente antes que el diseño completo de uno nuevo. Si se tratara de un proyecto nuevo, entonces se podría diseñar tomando en cuenta los requerimientos para la integración de captadores solares y estrategias pasivas, tales como, orientación e inclinación óptima de cubiertas, superficies libres de sombra, sistema constructivo capaz de soportar el peso de los PV o ST, materiales, etc.

La propuesta muestra el potencial que tienen los edificios industriales de Graiman, para la adaptabilidad de colectores PVs, como para la integración de estrategias pasivas de ventilación e iluminación. Con el resultado obtenido de diseño, no se podría considerar una integración arquitectónica de colectores solares ya que no reemplaza al material de la envolvente, pero si una superposición bien lograda, que guarda relación de dimensión y aspecto con la cubierta y todo el edificio en general. Solo en las etapas iniciales del diseño es posible alcanzar una integración coherente que responda a aspectos estéticos, formales y demandas

energéticas. Por otra parte, no existen reglas concretas sobre la integración arquitectónica, ya que esto depende de las decisiones del arquitecto, de la situación de cada proyecto y son conceptos aún en discusión.

Con los resultados del análisis lumínico se ha podido constatar que se logra una distribución adecuada y aceptable de niveles de iluminación, obteniendo un valor promedio de 1300lux. En consecuencia, la mayoría de las actividades industriales se pueden realizar con iluminación natural durante el día. En relación al confort térmico los resultados muestran que durante 12 horas del día no se alcanza el rango de confort. Se deduce que el material de recubrimiento; galvalume, no tiene la propiedad aisladora para conservar la temperatura interior. Adicionalmente, la altura de los galpones hace que la radiación solar no llegue a afectar a nivel del piso. Sería recomendable utilizar aislamiento térmico en las paredes para evitar pérdidas de calor en las noches y días fríos.

Cabe recalcar que estos resultados son estimaciones, un análisis detallado de las estrategias pasivas propuestas van más allá de la investigación, así como un estudio bioclimático del estado actual de los galpones.



Con la propuesta de envolvente, puede instalarse 48.241,35m² de placas PVs en las cubiertas del complejo Graiman, produciendo al año, 8.569.569,595 KWh. Se prevé que podría alcanzar el 22% de la demanda total de la industria cerámica, en caso de almacenar la energía sobreproducida en ciertas horas. Caso contrario los excedentes podrían ser distribuidos a la red. Además, en 25 años, que es el periodo de vida de la instalación PV, se puede ahorrar \$17.803.280,83 por costo de electricidad y también se puede evitar la emisión de 73.397,5 toneladas de CO₂ de acuerdo al factor de emisión de CO₂ del Sistema Interconectado Nacional. Si bien no es posible la compraventa real de energía PV en el país, la investigación tiene el enfoque de persuadir para cambiar la regulación y fomentar la energía PV autogenerada.

El parque industrial de Cuenca tiene un potencial gigantesco para integrar PV o ST por la cantidad y superficie extensa de techos en todas las fábricas (figura 67) y por tratarse de la zona de mayor consumo de la ciudad, así como la más contaminante, justamente por la demanda de combustibles fósiles.

Finalmente, el arquitecto está obligado en asesorar a sus clientes sobre las ventajas de un edificio con consumo de energía renovable

autogenerada in situ (económicas y ambientales) y sobre las ventajas de reducir significativamente las demandas de energía, mediante criterios bioclimáticos. No obstante para ello, los arquitectos deben conocer las estrategias pasivas y las tecnologías solares existentes, de manera básica, además de herramientas para cuantificar e ilustrar la influencia de las diversas aplicaciones solares, en una fase temprana de diseño, donde todavía se pueden influir en el diseño. Ya que con un software especializado se pueden hacer estimaciones de la energía producida por módulos PVs, cantidad de CO₂ ahorrado, niveles de iluminación natural, confort térmico; y así, facilitar el convencimiento de arquitectos y clientes.



RECOMENDACIONES

Una vez terminado el trabajo, se recomienda para la formación profesional, que la academia incentive el estudio de las nuevas tecnologías solares, profundizando en la integración arquitectónica y la cuantificación de producción; no solo saber que existen y que generan electricidad o calor.

Es también importante aprender el uso de softwares que permitan ilustrar y realizar predicciones cuantitativas de la producción de captadores solares, así como de niveles de iluminación, confort térmico, acústico y de aire.

Para futuras investigaciones respecto al tema, se recomienda hacer el estudio para una industria que demande de calor a temperatura baja para los procesos industriales.



REFERENCIAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2017). Balance Nacional de Energía Eléctrica. Octubre 2017. Recuperado el 21 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>

Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2018). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Periodo: enero - diciembre 2018, 181817(11). Recuperado a partir de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>

Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2016). Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano. Quito. Recuperado a partir de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estadística-anual-y-multianual-sector-eléctrico-2016.pdf>

Alcolado, J. J. (2015). Inaugurada instalación fotovoltaica de 3 MW. para autoconsumo industrial en Honduras. Recuperado el 31 de julio de 2017, a partir de <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=10769>

Astudillo, G. (2014, agosto 13). Cuenca necesita más espacio para la industria. *El Comercio*. Recuperado a partir de <http://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-espacio-industria-parque-necesita.html>

CDT. (2007). Sistemas Solares Térmicos. (Cámara Chilena de la Construcción, Ed.). Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico. Recuperado a partir de <http://www.cdt.cl/2007/10/sistemas-solares-termicos/>

Construnario. (2011). IM2 energía solar inaugura en Almussafes un nuevo parque solar fotovoltaico. Recuperado el 31 de julio de 2017, a partir de <https://www.construnario.com/notiweb/29079/im2-energia-solar-inaugura-en-almussafes-un-nuevo-parque-solar-fotovoltaico#>

Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP). (2013). Hidropaute. Recuperado el 2 de febrero de 2018, a partir de <https://www.celec.gob.ec/hidropaute/preguntas-frecuentes.html>

CTE Arquitectura. (2017). Resilient Roof: Proyecto de Edificio Zero | CTE Arquitectura. Recuperado el 20 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.ctearquitectura.es/arquitectos/arquitectura-sostenible/resilient-roof-proyecto-edificio-zero/>

dbn-parc Architekten. (2011). Sportstätten - Entwicklung und Planung. 3-Feld-Sporthalle AKH. Darmstadt. Recuperado a partir de http://www.dbn-parc.de/Info/Freibad_Markt_Grossosheim_1_files/3-Feld-Sporthalle_AKH.pdf

Delgado O., G. J., & Orellana S., M. L. (2015). Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell. Universidad Politecnica Salesiana. Recuperado a partir de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8428/1/UPS-CTOO4934.pdf>

Disch, M. (2010). Plus Energy The Manifesto. Freiburg. Recuperado a partir de http://www.rolfdisch.de/files/pdf/12_PLUSENERGIE_EIN_MANIFEST_6_englisch.pdf

Econoticias. (2011). Presentación pública de las 40 naves bioclimáticas de Porto Molle. Contrucción sostenible. Recuperado a partir de <http://www.ecoticias.com/bio-construccion/45140/Presentacion-publica-de-las-40-naves-bioclimaticas-de-Porto-do-Molle>

EDF Solar. (2016). Cogal Industria. Proyectos de autoconsumo. Recuperado a partir de ht-

[tps://www.edfsolar.es/proyectos/](https://www.edfsolar.es/proyectos/)

Eras, A. (2012). Estudio Energético del Sistema Eléctrico en Ecuador. Impulso a la Energía Solar Fotovoltaica. Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado a partir de <http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/handle/28000/1036>

Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (Fenercom). (2010a). Guía de integración Fotovoltaica. Madrid Solar. Madrid. Recuperado a partir de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-de-integracion-solar-fotovoltaica.pdf>

Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (Fenercom). (2010b). Manual técnico de energía solar para procesos industriales. Madrid. Recuperado a partir de <http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Manual-tecnico-de-energia-solar-para-procesos-industriales-fenercom-2010.pdf>

Garzón, B. (2007). Arquitectura bioclimática (Nobuko). Buenos Aires: Nobuko.

German Energy Agency (DENA). (2010). Renewables Made in Germany Niestetal.

Haro, L., & Oscullo, J. (2016). Factor Anual de Emisión de CO₂ Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014. Revista Politécnica -Marzo, 37(1). Recuperado a partir de http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen37/tomo1/Factor_Anual_de_Emision.pdf

Hernández, J. M., Alonso, B. D. C., Nochebuen, M. C. V., & Oliver, J. S. (2015). Integración de sistemas de energía solar fotovoltaica en el edificio de oficinas del ZAE en Alemania. Hábitat Sustentable, 2, 59-72. Recuperado a partir de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/421>

IEA-PVSP. (2017). International Energy Agency - Photovoltaic Power System Programme. 2016 Annual Report. IEA. Recuperado a partir de http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_RA2016-web.pdf

IEA-SHC. (2016). International Energy Agency - Solar Heating & Cooling Programme. 2015 Annual Report. IEA. Montpellier. Recuperado a partir de <http://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/IEA-SHC-Annual-Report-2015.pdf>

IEA SHC Task 41. (2012). Solar energy systems in architecture: integration criteria and guidelines. English. Recuperado a partir de <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>

Iglesias Placed, C. (2013). La integración arquitectónica de los sistemas fotovoltaicos para captación de energía solar. Greencities & Sostenibilidad. Universidad de Málaga.

INEN. (1984). Iluminación natural de edificios para fábricas y talleres. Quito: Norma Técnica Ecuatoriana. Recuperado a partir de <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1154.pdf>

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías renovables (INER). (2014a). Eficiencia energética en industrias. Quito. Recuperado a partir de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/INDUSTRIAS_DOSSIER.pdf

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías renovables (INER). (2014b). Solar. Quito. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

International Energy Agency (IEA). (2017). Ener-



gy Technology Perspectives 2017. Recuperado a partir de <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2017ExecutiveSummaryEnglish-version.pdf>

IRENE, & ETSAP. (2015). Solar Heat for Industrial Processes. Recuperado a partir de www.etsap.org

Izquierdo, I., & Pacheco, G. (2017). Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca. Universidad de Cuenca. Recuperado a partir de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27386>

Kaan, H., & Reijenga, T. (2004). Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(6), 395-408. <https://doi.org/10.1002/pip.554>

Leyton, S. (2010). Feed-In Tariff. Recuperado el 13 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.centralenergia.cl/2010/07/13/feed-in-tariff/>

Linares, V. (2017). Grupo Miguel inaugura planta fotovoltaica en San Juan Opico. EL Salvador. Recuperado a partir de <http://www.elsalvador.com/noticias/negocios/386182/>

grupo-miguel-inaugura-planta-fotovoltaica-en-san-juan-opico/

Luleva, M. (2015). Tesla's Gigafactory, World's Largest Net Zero Energy Building. *The Green Optimistic*. Recuperado a partir de <https://www.greenoptimistic.com/tesla-gigafactory-net-zero-building/#.WaltwMjyjIV>

M, C., Han, S., & Bailey, J. (2016). *Apple Campus 2. Design Life-Cycle*. Hoboken, NJ, USA. <https://doi.org/10.1002/0471238961.26091803.a01.pub3>

Marín, C. E. (2004). La Energía Solar Fotovoltaica En España. *Ninbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, 13-14(1139-7136), 5-31.

Martín Chivelet, N. (2011). Los módulos fotovoltaicos en la edificación: posibilidades y directrices de diseño. Recuperado el 6 de junio de 2017, a partir de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-4485-Los-modulos-fotovoltaicos-edificacion--posibilidades-directrices-diseño.aspx>

MEER. (2016). Eficiencia Energética para la industria en el Ecuador. Recuperado a partir de <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/06/Estudios-de-ca>

so-SGEn-en-industrias-ecuatorianas.pdf

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE). (2016). Resumen Balance Energético Nacional 2016 - Año Base 2015. Quito. https://issuu.com/sectoresestrategicos/docs/balance_energetico_2016

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). (2017). Plan Maestro de Electricidad 2016-2025. Quito. Recuperado a partir de <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/>

Ministerio de Industrias y Productividad (MI-PRO). (2017). Cuenca contará con un nuevo parque ecoindustrial. Recuperado el 21 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.industrias.gob.ec/cuenca-contara-con-un-nuevo-parque-industrial/>

Montero, J. (2016). Arquitectura y energía fotovoltaica. Integración arquitectónica de la energía fotovoltaica. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. Recuperado a partir de http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/44245%0Ahttp://www.cleaneenergysolar.com/wp-content/uploads/2011/09/pliego-de-condiciones-de-instalaciones-fotovoltaicas-conectadas-a-red-julio-2011.pdf%0Ahttp://fama.us.es/record=b1924300~S5*spi

Neira, M. (2013). Integración Arquitectónica de la energía Fotovoltaica. Universidad de Ovideo. Recuperado a partir de <http://hdl.handle.net/10651/19420%0A>

NREL. (2017). System Advisor Model (SAM). Recuperado a partir de <https://sam.nrel.gov/about>

NREL. (2018). Best research-cell Efficiencies. Recuperado el 31 de enero de 2018, a partir de <https://www.nrel.gov/pv/assets/images/efficiency-chart.png>

Parra, R. (2015). Factor de emisión de CO2 debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el periodo 2001 -2014. Avances en ciencia e ingenierías, 7. Recuperado a partir de http://www.usfq.edu.ec/publicaciones/avances/archivo_de_contenidos/Documents/volumen_7_numero_2/C80-7-2-2015.pdf

Peren, J. I., van Hooff, T., Ramponi, R., Blocken, B., & Leite, B. C. C. (2015). Impact of roof geometry of an isolated leeward sawtooth roof building on cross-ventilation: Straight, concave, hybrid or convex? *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 145, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.05.014>

Pérez, M. (2015). Estudio de viabilidad de insta-

laciones fotovoltaicas con integración arquitectónica. Universidad de la Laguna. Recuperado a partir de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/1417>

Philibert, C. (2017). Renewable Energy for Industry. From green energy to green materials and fuels. OECD/IEA. Recuperado a partir de https://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/Renewable_Energy_for_Industry.pdf

Plataforma Arquitectura. (2015a). Base de Mantenimiento de Motores de Jet PIM2 / Jean-François Schmit | Plataforma Arquitectura. Recuperado el 20 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769732/base-de-mantenimiento-de-motores-de-jet-pim2-jean-francois-schmit>

Plataforma Arquitectura. (2015b). Fábrica HAWE Kaufbeuren / Barkow Leibinger | Plataforma Arquitectura. Recuperado el 20 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759817/fabrica-hawe-kaufbeuren-barkow-leibinger>

Plataforma Arquitectura. (2015c). Levering Trade / ATELIER ARS° | Plataforma Arquitectura. Recuperado el 20 de noviembre de 2017, a partir de <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/771326/levering-trade-atelier-ars-degrees>

[cl/cl/771326/levering-trade-atelier-ars-degrees](https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/771326/levering-trade-atelier-ars-degrees)

Ramos, B. (2014). Energía solar, fuente de las energías renovables - Soy Medio Ambiente. Recuperado el 30 de mayo de 2017, a partir de <http://soymedioambiente.com/energia-solar-fuente-energias-renovables>

S:Flex. (2017). S:FLEX - PV Mounting Systems. Recuperado el 15 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.sflex.com/htdocs/index.php/us/>

S.W.H Group SE. (2015). Como funciona el NET METERING. Recuperado el 13 de diciembre de 2017, a partir de <http://www.swhgroup.eu/sp-net-metering.html>

SMITH, M.K., WAMSER, C.C., JAMES, K.E., MOODY, S., SAILOR, D.J. y ROSENSTIEL, T. (2013). Effects of Natural and Manual Cleaning on Photovoltaic Output. *Journal of Solar Energy Engineering* [en línea], 135 núm. 3(0199-6231). Recuperado a partir de <http://dx.doi.org/10.1115/1.4023927>.

Solar Payback. (2017). Calor solar para la industria. Recuperado a partir de https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Calor-Solar-Para-La-Industria_Solar-Payback_April-2017.pdf



Spandafora, R. (2014). Diseño verde sostenible y el servicio de bomberos: el techo de sierra. Recuperado el 26 de marzo de 2018, a partir de <http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-167/issue-3/fdic-preview/sustainable-green-design-and-the-fire-service-the-saw-tooth-roof.html>

SUPSI/ISAAC. (2013). Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Recuperado el 6 de junio de 2017, a partir de <http://www.bipv.ch/index.php/en/>

Tecnoce. (2015). Aplicación en la industria de proyectos de energía solar térmica. Recuperado el 21 de diciembre de 2017, a partir de <http://todoproductividad.blogspot.com.es/2014/11/aplicacion-en-la-industria-de-proyectos.html>

TRITEC. (2017). Casos de referencia. TRITEC energy. Recuperado a partir de <http://www.tritec-energy.com/en/reference-cases/>

World Nuclear Association. (2011). Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources. London. Recuperado a partir de http://www.world-nuclear.org/uploadedFiles/org/WNA/Publications/Working_Group_Reports/comparison_of_lifecycle.pdf

Zalamea-León, E. F., & García-Alvarado, H. R. (2018). Integración de captación activa y pasiva en viviendas unifamiliares de emprendimientos inmobiliarios. *Ambiente Construido*, 18(1), 445-461. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100231>

Zalamea-Leon, E., & Quesada-Molina, F. (2017). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. *Revista de Arquitectura*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1018>

PAGINAS WEB

<https://www.iea-shc.org/>

<http://www.iea-pvps.org/>

<https://www.iea.org/>

<http://www.bipv.ch/>

<http://www.rolfdisch.de/>

<http://www.energia.gob.ec/>

<https://www.edfsolar.es/>

<http://www.exiomsolution.com>

<http://www.tritec-energy.com/>

<http://clickcon.eu/>

<http://www.sflex.com/>

<http://arboliza.es/compensar-co2/calculo-co2.html>

<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/category/arquitectura-industrial>

<https://sam.nrel.gov/>

<http://www.regulacionelectrica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/balance-nacional/>

<http://solarenergysystems.baywa-re.com>

<http://www.mecosun.fr/fr/produits-solutions/systeme-mve>

<http://redenti.ups.edu.ec:8086/iner/faces/descarga.xhtml>

CRÉDITOS DE IMÁGENES.

01. Consumo de energía mundial, año 2014. Fuente: https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Calor-Solar-Para-La-Industria_Solar-Payback_April-2017.pdf
02. Consumo de energía total del Ecuador, año 2016. Fuente: <http://www.energia.gob.ec/>
03. Consumo de la electricidad por sector en Ecuador, año 2016. Fuente: <http://www.energia.gob.ec/>
04. Consumo de la energía en la industria Ecuador, 2016. Fuente: <http://www.energia.gob.ec/>
05. Estructura de la generación eléctrica en Ecuador, 2016. Fuente: Realizado por el autor. Información obtenida de: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER). (2017). Plan Mestro de Electricidad 2016-2025. Quito. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/biblioteca>, pag. 72
06. Tecnologías activas y pasivas destinadas a demandas de edificios. Fuente: IEA SHC Task 41. (2012). Solar energy systems in architecture: integration criteria and guidelines. English. Recuperado de <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>, pag 5
07. Consumo final de energía de la industria a nivel mundial, año 2014. Fuente: https://www.solar-payback.com/wp-content/uploads/2017/04/Calor-Solar-Para-La-Industria_Solar-Payback_April-2017.pdf
08. Naves Industriales en Parque Empresarial Porto do Molle. Fuente: <https://www.construction21.org/espana/case-studies/es/naves-industriales-en-parque-empresarial-porto-do-molle.html>
09. Fábrica HAWE Kaufbeuren. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/759817/fabrica-hawe-kaufbeuren-barkow-leibinger>
10. Levering Trade. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/771326/levering-trade-atelier-ars-degrees>
11. Base de Mantenimiento de Motores de Jet PIM2. Fuente: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/769732/base-de-mantenimiento-de-motores-de-jet-pim2-jean-francois-schmit>
12. 13. Resilient Roof. Reto KÖMMERLING. Fuente: <http://www.ctearquitectura.es/arquitectos/arquitectura-sostenible/resilient-roof-proyecto-edificio-zero/>
14. Esquema de estrategias pasivas. Resilient Roof. Reto KÖMMERLING. Fuente: <http://retokommerling.com/propuestas-semifinalistas-del-concurso-proyectos-resilient-roof/>
15. Cubierta diente de sierra con distinta inclinación. Fuente: Elaboración propia
16. Cubierta diente de sierra curvo. Fuente: Elaboración propia.
17. Iluminación con cubierta diente de sierra. Fuente: Elaboración propia.
18. Ventilación con cubierta diente de sierra. Fuente: Elaboración propia.
19. Monocristalino. Fuente: <https://techimperial.in/product/solar-cell/>
20. Multicristalino. Fuente: <https://www.metrohm.com/en-us/industries/energy-photovoltaics/>
21. Lámina delgada. Fuente: <https://www.suaoki.com/products/100w-18v-12v-solar-panel-charger-1>
22. Posible situación cuando se usa Net Metering. Fuente: <https://www.revovesolar.com/net-metering-in-california/>
23. Placas fotovoltaicas sobre techumbre ondu-



- ladas acondicionadas para generar ventilación pasiva. Fuente: <http://www.sdyabaite.com>
24. Variedad en el color de células PV. Fuente: <http://www.bipv.ch>
25. Color de fondo del módulo PV. Fuente: <http://www.bipv.ch>
26. Rendimiento del módulo PV según el color. Fuente: Realizado por el autor. Información obtenida de <http://www.bipv.ch>
27. Ejemplos de formas de células PV. Fuente: <http://www.bipv.ch>
29. Ejemplos de reflexión de los módulos PV. Fuente: <http://www.bipv.ch>
29. Disposición de las células PV para lograr transparencia. Fuente: Redibujó. Información obtenida en IEA SHC Task 41. (2013). Designing Photovoltaic Systems for Architectural integration: Criteria and guidelines for product and system developers. English. Recuperado de <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/task41A3-2-Designing-Photovoltaic-Systems-for-Architectural-Integration.pdf>, pag 19
30. Ejemplos de transparencia y filtro solar. Fuente: <http://www.bipv.ch>
31. Colector PV colocado en cubierta. Fuente: <http://www.suelosallar.com>
32. Colector solar integrado arquitectónicamente. Fuente: <http://www.bipv.ch/index.php/it/agricolo-s-it/item/670-lauperm>
33. Esquemas de colectores colocados en edificación. Fuente: El autor
34. Posibilidades de integración arquitectónica. Fuente: Redibujó. Información obtenida de IEA SHC Task 41. (2012). Solar energy systems in architecture: integration criteria and guidelines. English. Recuperado de <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>.
35. Integración de PV en cubierta inclinada. Fuente: <http://www.bipv.ch>
36. Integración de PV en cubierta inclinada. Fuente: <http://www.exiomsolution.com/galeria/paneles-solares-en-edificaciones/>
37. Integración en cubierta plana. Fuente: <http://www.terra.org>
38. Sistema de fijación en cubierta plana. Fuente: <http://www.estudiosolar.es>
39. Integración en fachada. Fuente: <http://www.salleurl.edu>
40. Integración en fachada. Fuente: <http://www.onyx-solar.com>
41. Celosías PV. Fuente: <http://www.llambi.com>
42. Parasol PV de lámina delgada. Fuente: <http://www.3d-leap.com>
43. El edificio GDF Seuz, en Francia. Fuente: <http://www.bipv.ch/index.php/it/administrativo-s-it/item/1170-gdfsuez-ita>
44. Cape Brewing Cia. Fuente: <https://www.e3-energygroup.com>
45. Zehnder Group Produktion. Fuente: <http://ritter-xl-solar.com>
46. ISA Tan Tec. Fuente: <http://liteleather.com/news-detail/?nid=2537>
47. Grupo Miguel. Fuente: <http://www.elsalvador.com>
48. Embotelladora Sula. Fuente: <http://suelosolar.com>
49. Cogal Industria. Fuente: <http://www.edfsolar.com>

es/proyectos/energia-solar-fotovoltaica-auto-consumo-cogal-industria/

50. Lissag AG. Fuente: <http://www.tritec-energy.com>

51. Mutina Modena. Fuente: <http://www.tritec-energy.com>

52. Innovent Technologies AG. Fuente: <http://www.tritec-energy.com>

53. Polígono Industrial Carlos I. Fuente: <https://www.construnario.com/notiweb/29079/im2-energia-solar-inaugura-en-almussafes-un-nuevo-parque-solar-fotovoltaico#.Wsknpl-jwblU>

54. Theo Rietschie AGEI. Fuente: <http://www.tritec-energy.com>

55. Riedel Recycling. Fuente: <http://www.bipv.ch>

56. Dreifeldsporthalle. Fuente: <http://www.dbn-parc.de>

57. Estación de bombeo Rietli. Fuente: <http://www.viasolis.eu>

58. Techo solar Hallenbad-Buchensaal Speicher. Fuente: <http://www.bipv.ch>

59. Centro Deportivo “Tres en Uno”. Fuente: <http://www.archello.com/en/project/salle-de-sport-triple>

60. Gigafactory Tesla. Fuente: <https://www.tesla.com/gigafactory>

61. Apple Park. Fuente: <https://www.dezeen.com>

62. Apple Park en construcción. Fuente: <https://www.wired.com/story/apple-campus/>

63. Casa Unifamiliar en Tyrol, Austria. Fuente: <http://www.iea-shc.org/data/sites/12/documents/projects/SunHouse.pdf>

64. Ubicación de la provincia del Azuay. Fuente: Elaboración del autor

65. Ubicación del parque industrial en Cuenca. Fuente: Elaboración del autor

66. Ubicación del recinto industrial Graiman. Fuente: Elaboración del autor

67. Vista aérea del parque industrial. Fuente: Elaboración del autor

68. Vista aérea del complejo industrial Graiman. Fuente: Elaboración propia.

69. Emplazamiento Complejo Industrial Graiman. Fuente: Elaboración del autor.

70. Planta de cubiertas_Cerámicas Graiman. Fuente: Elaboración del autor

71. Cerámicas Graiman. Área de inspección del producto. Fuente: Elaboración del autor

72. Cerámicas Graiman. Área de empaque. Fuente: Elaboración del autor

73. Cerámicas Graiman. Área de cocción. Fuente: Elaboración del autor

74. Cerámicas Graiman. Área de molienda. Fuente: Elaboración del autor.

75. 76. Material de construcción de los galpones. Fuente: Elaboración del autor.

77. 78. 79. Tipología de edificios industriales. Fuente: Elaboración del autor

80. Consumo eléctrico diario de cerámicas Graiman, año 2016. Fuente: Elaboración del autor.

81. Iluminación y ventilación actual en edificios industriales de Graiman. Fuente: Elaboración del autor.



82. Sombras del complejo industrial Graiman en solsticio de verano. Fuente: Elaboración del autor

83. Solsticio de invierno: 21 de junio. Fuente: Elaboración del autor

84. Equinoccio: 21 de marzo. Fuente: Elaboración del autor

85. Solsticio de verano: 21 de diciembre. Fuente: Elaboración del autor

86. Estrategias pasivas consideradas para el diseño. Fuente: Elaboración del autor

87. 88. 89. Pasos para montaje de paneles PV. Fuente: <http://www.sflex.com/htdocs/index.php/us/>
88. Axonometrías del proceso constructivo de la envolvente. Fuente: Elaboración del autor

90. Galpones considerados para simulaciones de iluminación. Fuente: Elaboración propia.

91. 92. 93. Galpon 1,2,3. Niveles de iluminación natural. Fuente: Elaboración propia.

94. Galpón considerado para simulación de confort térmico. Fuente: Elaboración propia.

95. Temperatura día promedio. Fuente: Elabo-

ración propia.

96. Distribución de la temperatura anual. Fuente: Elaboración propia.

96. Ángulo de orientación Azimut. Fuente: Elaboración del autor

97. Propuesta de envolvente para todo el complejo Graiman. Fuente: Elaboración propia.

98. Planta de cubiertas de la envolvente propuesta a todo el complejo Graiman. Fuente: Elaboración del autor.

99. Ángulo de orientación. Fuente: Elaboración del autor

100. Ángulo de inclinación. Fuente: Elaboración del autor

101. Orientaciones de las cubiertas del complejo industrial Graiman. Fuente: Elaboración del autor.

102. Comparación mensual entre demanda energética frente producción PV. Fuente: Elaboración del autor

103. Variación horaria de producción-demanda a lo largo del año. Fuente: Elaboración del autor

104. Demanda diaria neta frente a producción diaria neta. Fuente: Elaboración del autor

105. Comparación demanda-producción en días extremos. Fuente: Elaboración del autor

TABLAS

Tabla 01. Estrategias de diseño pasivo. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 02. Consumo eléctrico de cerámicas Graiman año 2016. Fuente: Centrosur.

Tabla 03. Consumo de combustibles de Cerámicas Graiman. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 04. Área de PV sombreada y sin sombra. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 05. Área de PV con su orientación e inclinación. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 06. Demanda y producción mensual de electricidad. Fuente: Elaboración del autor.

Tabla 07. Porcentaje de abastecimiento PV en días extremos. Fuente: Elaboración del autor.

ANEXOS

ANEXO I: PRODUCCIÓN-DEMANDA DIARIA

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Enero	1	10.470,24	32.603,53
	2	35.246,20	27.562,77
	3	49.500,86	31.320,72
	4	65.936,03	30.931,25
	5	66.392,69	32.954,21
	6	73.021,67	31.866,72
	7	83.886,98	25.724,99
	8	79.766,70	24.249,66
	9	70.919,96	31.033,34
	10	62.966,04	27.550,43
	11	69.067,79	29.503,59
	12	80.620,14	25.962,44
	13	61.302,35	26.502,49
	14	76.746,06	29.270,83
	15	77.242,54	28.591,37
	16	76.677,83	28.988,07
	17	75.250,87	27.645,45
	18	77.036,77	21.792,58
	19	53.038,38	19.228,83
	20	77.828,50	16.033,26
	21	98.267,24	11.806,01
	22	100.155,26	17.111,25
	23	105.794,69	27.057,70
	24	104.690,73	31.232,37
	25	105.753,00	32.111,80
	26	119.404,84	32.570,37
	27	114.037,34	33.946,48
	28	120.618,06	32.581,78
	29	114.396,35	27.061,08
	30	103.936,43	18.838,94
	31	108.103,68	23.788,68

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Febrero	1	110.384,38	29.084,68
	2	121.501,27	21.113,02
	3	122.864,28	21.458,25
	4	127.040,23	20.023,21
	5	120.855,32	26.354,46
	6	106.763,96	22.586,58
	7	108.984,69	19.538,77
	8	95.053,26	19.917,23
	9	87.290,79	16.285,39
	10	99.140,16	17.493,07
	11	104.072,96	22.260,80
	12	107.166,73	26.044,53
	13	106.575,79	26.305,33
	14	107.275,48	21.271,11
	15	104.069,42	23.119,28
	16	112.611,04	27.232,75
	17	107.217,37	17.642,72
	18	106.648,89	24.837,60
	19	109.471,04	23.795,80
	20	110.486,47	24.925,13
	21	109.663,28	26.056,47
	22	109.648,68	26.539,70
	23	111.851,47	21.790,52
	24	116.297,14	21.923,06
	25	118.222,92	26.447,33
	26	123.885,84	25.301,70
	27	113.108,59	31.476,33
	28	108.317,80	24.855,82
	29	122.292,10	23.168,28

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Marzo	1	125.004,45	21.468,97
	2	118.038,05	29.732,98
	3	124.701,19	20.718,04
	4	121.712,95	15.884,38
	5	109.720,45	28.509,23
	6	94.779,81	22.594,63
	7	97.750,88	16.344,74
	8	103.057,07	22.311,55
	9	97.424,85	22.587,68
	10	95.832,12	24.764,06
	11	94.466,49	29.517,80
	12	82.576,40	27.279,87
	13	82.502,09	10.628,75
	14	91.432,92	20.769,57
	15	100.222,16	20.885,24
	16	91.897,18	18.541,41
	17	98.879,30	15.901,05
	18	86.166,93	20.948,17
	19	85.933,88	22.383,45
	20	81.312,85	22.654,57
	21	95.534,44	23.354,08
	22	101.369,59	23.613,77
	23	93.887,43	15.126,84
	24	99.448,30	22.661,74
	25	81.125,13	26.617,10
	26	79.560,52	14.863,41
	27	84.620,87	26.760,24
	28	93.497,77	20.712,11
	29	96.636,87	28.775,71
	30	101.069,34	13.763,51
	31	100.455,31	19.219,13



Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Abril	1	100.050,69	16.040,95
	2	81.825,80	24.097,03
	3	58.389,27	17.263,97
	4	89.596,26	24.791,52
	5	89.539,39	23.205,54
	6	76.078,21	21.780,10
	7	84.711,03	21.262,30
	8	75.096,64	23.945,68
	9	83.772,25	22.032,47
	10	76.049,09	20.860,54
	11	86.371,36	28.239,12
	12	90.062,01	27.068,20
	13	89.100,18	21.607,36
	14	89.669,62	27.916,99
	15	95.835,21	24.753,90
	16	86.193,44	24.477,71
	17	74.503,84	22.609,17
	18	92.771,56	23.062,80
	19	94.160,37	19.657,18
	20	108.664,89	20.906,15
	21	105.312,73	24.141,99
	22	109.620,99	21.144,27
	23	95.712,60	23.530,43
	24	99.689,29	21.709,92
	25	111.659,83	25.578,82
	26	106.224,61	26.087,13
	27	106.302,78	26.819,32
	28	106.448,80	18.101,96
	29	115.468,27	26.480,85
	30	90.846,64	14.557,26

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Mayo	1	95.120,10	21.539,10
	2	105.405,22	25.054,47
	3	114.029,94	25.008,52
	4	101.724,95	18.330,08
	5	90.336,66	20.773,91
	6	115.320,93	18.889,66
	7	101.120,89	15.343,36
	8	92.442,82	22.214,72
	9	110.174,46	15.676,37
	10	113.895,66	20.045,92
	11	107.886,39	23.639,79
	12	105.199,77	24.312,91
	13	105.613,63	18.390,80
	14	97.444,15	16.521,24
	15	91.754,05	17.421,25
	16	101.190,62	23.106,12
	17	85.337,94	18.663,95
	18	90.429,09	23.447,40
	19	108.172,63	22.187,02
	20	100.621,89	24.026,41
	21	102.939,98	25.328,46
	22	99.217,35	16.445,79
	23	106.983,68	19.974,85
	24	107.394,62	18.193,93
	25	104.644,45	16.628,33
	26	104.911,04	22.812,94
	27	110.160,68	27.851,18
	28	92.904,04	16.794,46
	29	99.184,01	22.640,32
	30	103.108,49	23.105,12
	31	112.658,62	23.355,00

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Junio	1	110.034,66	19.195,39
	2	108.185,53	17.676,66
	3	111.532,06	20.139,05
	4	98.123,33	21.233,63
	5	91.473,30	22.753,35
	6	97.792,83	21.037,05
	7	102.580,56	25.936,75
	8	112.787,54	15.614,69
	9	115.377,65	24.261,25
	10	117.978,34	21.675,89
	11	111.020,81	21.321,65
	12	115.015,92	13.534,30
	13	112.815,21	6.925,13
	14	121.860,94	25.850,14
	15	122.047,35	18.892,02
	16	119.918,07	10.377,47
	17	117.559,79	17.541,35
	18	109.684,38	16.689,57
	19	112.950,78	17.069,71
	20	119.299,97	14.496,61
	21	113.059,38	16.079,62
	22	108.601,41	22.608,66
	23	118.780,04	11.792,44
	24	115.744,64	17.336,53
	25	110.792,70	20.337,19
	26	119.288,55	23.289,26
	27	121.454,52	26.829,28
	28	123.706,21	14.092,11
	29	124.047,68	22.007,19
	30	113.714,51	25.125,32



Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Julio	1	114.050,33	21.738,12
	2	99.540,79	11.759,09
	3	100.884,49	20.084,58
	4	114.412,42	22.084,18
	5	108.699,19	19.846,77
	6	114.467,10	23.198,84
	7	112.293,94	23.616,58
	8	114.168,45	18.120,01
	9	107.632,67	18.000,15
	10	106.085,84	19.297,59
	11	108.885,06	17.827,83
	12	118.844,90	20.314,02
	13	120.410,70	15.573,11
	14	125.680,25	14.715,75
	15	121.599,68	20.195,61
	16	120.149,48	23.071,34
	17	103.784,10	15.589,93
	18	117.535,35	19.365,52
	19	122.484,26	22.772,19
	20	124.886,84	11.260,19
	21	125.242,46	16.690,80
	22	121.031,91	11.392,21
	23	116.144,36	19.083,53
	24	117.896,48	18.901,73
	25	121.065,86	21.884,13
	26	118.065,71	20.258,96
	27	124.639,47	16.759,35
	28	127.437,16	16.412,28
	29	127.441,70	12.558,68
	30	115.338,20	11.224,07
	31	111.341,40	14.621,86

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Agosto	1	119.619,55	20.026,41
	2	124.451,28	12.405,70
	3	126.401,74	13.160,69
	4	124.611,72	20.511,92
	5	126.377,92	25.336,38
	6	119.080,09	28.138,30
	7	117.226,10	18.380,33
	8	119.599,75	23.123,94
	9	125.401,54	21.310,76
	10	123.763,22	24.102,91
	11	123.806,76	23.005,03
	12	128.532,51	24.146,01
	13	120.234,23	30.258,35
	14	105.939,53	31.780,33
	15	111.353,37	27.106,45
	16	115.292,46	16.344,09
	17	113.500,48	22.429,23
	18	122.018,60	17.393,40
	19	120.286,51	20.413,21
	20	113.193,84	26.436,22
	21	112.558,19	24.303,30
	22	115.048,99	17.181,15
	23	117.992,04	27.632,28
	24	116.206,05	30.764,28
	25	119.091,56	29.936,25
	26	119.885,04	9.345,77
	27	80.986,56	21.126,92
	28	114.242,53	28.671,70
	29	115.229,00	28.100,96
	30	115.441,17	28.110,03
	31	114.834,73	19.762,46

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Septiembre	1	117.972,19	13.833,54
	2	116.125,99	22.889,68
	3	112.110,33	25.384,87
	4	110.970,50	25.932,43
	5	109.217,36	20.155,29
	6	124.954,42	20.399,97
	7	124.166,41	25.261,86
	8	124.760,41	33.249,50
	9	119.425,56	26.727,38
	10	115.430,00	24.388,69
	11	115.155,64	16.370,30
	12	115.764,11	30.397,16
	13	118.135,46	29.967,89
	14	119.122,68	27.840,35
	15	125.337,40	31.774,93
	16	122.631,65	30.020,52
	17	116.753,82	21.987,73
	18	104.462,23	16.881,89
	19	110.500,24	10.861,73
	20	122.465,15	13.075,48
	21	120.034,49	24.948,90
	22	124.649,20	23.080,73
	23	125.091,98	22.348,40
	24	114.997,69	15.353,88
	25	113.041,91	18.464,91
	26	119.510,01	25.432,14
	27	121.739,38	29.845,90
	28	121.679,22	21.901,94
	29	123.639,24	24.694,72
	30	118.811,34	29.215,41



Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Octubre	1	112.491,34	28.141,78
	2	108.211,65	22.919,72
	3	116.261,13	12.929,18
	4	116.443,42	19.458,59
	5	117.097,91	26.050,72
	6	116.007,31	27.049,17
	7	117.741,20	31.306,65
	8	113.372,17	32.833,49
	9	108.573,98	28.591,03
	10	106.202,87	27.814,06
	11	118.001,76	18.597,83
	12	112.493,33	30.932,28
	13	117.945,82	27.915,62
	14	107.162,25	31.123,30
	15	113.933,02	28.424,13
	16	105.313,29	31.250,91
	17	107.881,06	31.073,59
	18	114.435,89	25.253,52
	19	111.877,20	33.463,78
	20	114.990,48	29.913,15
	21	115.944,43	21.834,95
	22	113.180,90	28.654,09
	23	111.614,03	30.495,17
	24	118.855,00	30.621,93
	25	123.771,65	25.565,69
	26	121.512,61	35.670,18
	27	121.946,08	36.079,39
	28	115.121,77	28.049,53
	29	117.355,30	29.104,74
	30	108.777,22	32.225,35
	31	114.624,84	28.175,11

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Noviembre	1	127.869,43	34.183,62
	2	123.558,94	33.883,67
	3	112.969,72	22.349,07
	4	116.852,90	20.211,34
	5	115.279,84	18.722,03
	6	109.446,73	17.078,72
	7	124.624,24	24.148,18
	8	126.787,96	30.673,55
	9	126.990,49	31.307,08
	10	130.082,27	29.299,47
	11	128.860,14	20.743,46
	12	132.891,07	31.081,71
	13	133.386,00	31.408,82
	14	131.573,00	32.309,86
	15	135.312,00	34.122,68
	16	127.673,42	34.925,61
	17	127.032,77	36.038,47
	18	125.397,52	33.644,52
	19	110.470,32	33.484,51
	20	109.535,80	35.085,62
	21	125.010,68	35.090,90
	22	130.215,46	36.978,35
	23	122.683,85	32.495,80
	24	133.548,32	30.915,46
	25	133.299,33	29.383,87
	26	126.278,32	31.245,58
	27	117.359,98	29.130,85
	28	132.398,68	23.509,77
	29	129.621,94	21.009,45
	30	127.802,46	21.830,40

Mes	Día	Demanda (KWh)	Producción (KWh)
Diciembre	1	135.150,60	15.665,29
	2	136.361,05	20.094,44
	3	114.201,73	20.747,79
	4	117.097,49	29.042,95
	5	120.433,83	28.388,34
	6	126.891,77	26.756,49
	7	122.830,77	30.438,96
	8	115.502,27	24.703,25
	9	120.488,33	24.444,41
	10	121.246,26	29.942,79
	11	112.755,70	31.236,50
	12	112.972,99	24.624,93
	13	105.426,27	25.651,09
	14	99.034,37	29.201,98
	15	95.355,68	17.759,08
	16	120.225,61	11.235,61
	17	111.922,89	22.918,03
	18	102.292,87	27.566,95
	19	110.091,91	21.618,48
	20	118.834,65	22.331,67
	21	106.418,05	31.405,63
	22	83.068,03	25.630,13
	23	39.117,67	32.874,96
	24	21.689,70	21.721,17
	25	11.993,13	29.489,85
	26	20.698,34	26.032,36
	27	25.603,43	30.129,80
	28	24.874,69	21.153,11
	29	28.878,77	33.153,86
	30	27.647,39	23.460,79
	31	21.464,26	27.230,64