

Propuesta para la mitigación de efectos térmicos sobre el medio ambiente debido a la explotación de materiales pétreos para la construcción. Experiencia piloto, mina Santa Rita en el municipio de Medellín.

JULIO CESAR ORTIZ ZAPATA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MEDELLÍN

FACULTAD DE ARQUITECTURA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIÓN

Propuesta para la mitigación de efectos térmicos sobre el medio ambiente debido a la explotación de materiales pétreos para la construcción. Experiencia piloto, mina Santa Rita en el municipio de Medellín.

JULIO CESAR ORTIZ ZAPATA

Trabajo Dirigido de Grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Magíster en Construcción

Director: PhD. Oswaldo Ordóñez Carmona

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA

MEDELLÍN

2024

DEDICATORIAS

A mi familia, comenzando por mi esposa Paula Andrea Ramos López que me llena de fuerza para lograr mis objetivos y crecer continuamente, mi hijo Julio César que está próximo a nacer, a Juanes que es parte de mi corazón, a ellos con los que formamos un hermoso hogar que nos disfrutamos a diario.

A mi madre que me ha guiado siempre en el camino, a la que le debo la mitad de mi existencia, de ser ingeniero, la fuerza para trabajar y muchas cosas más.

A mi hermano Juan Pablo que lo adoro con el corazón.

A mis hermanos del alma Jairo Umaña, Omar Osorio y Juan David Umaña.

A todos lo que han hecho parte de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Oswaldo Ordoñez Carmona, quien me tomó como su pupilo y me dio apoyo incondicional durante gran parte de mi pregrado y ahora continúa haciéndolo en el interminable trabajo de aprendizaje con mi maestría y mi carrera en general.

A la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín que me sorprendió gratamente con su maravillosa enseñanza, la sabiduría de sus maestros como la de los profesores John Muñoz, Carlos Fuentes, Julio César Sánchez, a quienes admiro y agradezco profundamente sus enseñanzas.

A la Mina La Margarita que me abrió sus puertas para realizar esta investigación, en especial al ingeniero Yonatan Sampedro.

A la cantera Santa Rita, en especial al ingeniero Fredy Montaña que también me permitió el ingreso a sus instalaciones y el acceso a sus datos para realizar mi trabajo.

A mi Universidad Nacional de Colombia que amo y estoy orgulloso de ser parte de sus egresados, muchas gracias por darle la oportunidad a personas como yo de transformar su vida por medio de la academia.

Y a todas las personas que me ayudaron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
2. PROBLEMA FORMULADO	2
ELEMENTOS ORIENTADORES.	3
3. OBJETIVOS.....	3
3.1. OBJETIVO GENERAL	3
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. ANTECEDENTES	5
5.1. MINA LA MARGARITA.	6
5.2. PARQUE TANGUÁ.....	7
5.3. PARQUE TINGUI	7
5.4. ÓPERA DE ARAME, PARQUE DAS PEDREIRAS	8
5.5. PARCELAS AGROFORESTALES, MINEROS S.A.	9
6. MARCO TEÓRICO.	10

6.1. MINERÍA.	10
6.1.1 MINA.	10
6.1.2. TIPOS DE MINERÍA.	11
6.1.3. MINERÍA A CIELO ABIERTO	11
6.1.4. CANTERAS	11
6.1.5. CANTERAS DE PEÑA O ROCA.	12
6.2. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	13
6.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE.	13
6.2.2. DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)	14
6.2.3. CALENTAMIENTO GLOBAL	14
6.2.4. EFECTO INVERNADERO	15
6.2.5. ISLA DE CALOR.	15
6.2.5. AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN MEDELLÍN	16
6.3. ENERGÍA SOLAR	16
6.3.1. RADIACIÓN SOLAR.	16
6.3.2. EFECTO FOTOVOLTAICO	16
6.3.3. CELDAS FOTOVOLTAICAS	17
6.3.4. PANELES SOLARES	17
6.3.5. TIPOS DE PANELES SOLARES	17
6.4. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.	18
6.5. TERMOHIGRÓMETRO	18
7. METODOLOGÍA	18
7.1. Recolección de datos	18
7.2. Toma de temperatura.	19

7.3. Dimensionamiento para el requerimiento energético de la Mina Santa Rita.	20
8. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	20
8.1. Datos Cantera Santa Rita.....	20
8.1.1. Resultados - toma de datos Cantera Santa Rita.	21
8.1.2. Temperaturas – Cantera Santa Rita	23
8.2. Datos Mina La Margarita.....	25
8.2.1. Resultados toma de datos Mina La Margarita.....	26
8.2.2. Análisis de resultados Mina La Margarita.....	29
8.2.3. Resultados toma de datos visita 3 Mina La Margarita, día nublado.	36
8.2.4. Análisis de resultados visita 3 Mina La Margarita, día nublado.....	37
8.3. Comparación de datos Mina la Margarita y Cantera Santa Rita.....	39
8.4. Dimensionamiento para el requerimiento energético de la Mina Santa Rita.	43
8. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de Estudio	2
Figura 2. Paneles solares Mina la Margarita	6
Figura 3. Parque Tanguá, Curitiba - Brasil	7
Figura 4. Parque Tingui. Curitiba - Brasil	8
Figura 5. Ópera de Arame, Curitiba – Brasil	9
Figura 6. Parcelas agroindustriales - Mineros S.A	10
Figura 7. Cantera Santa Rita Medellín	12
Figura 8. Toma de temperatura	19
Figura 9. Ubicación Cantera Santa Rita	21
Figura 10. Toma de datos con día nublado.....	22
Figura 11. Temperatura Cantera Santa Rita	24
Figura 12. Temperatura en Medellín	24
Figura 13. Ubicación Mina La Margarita	25
Figura 14. Ubicación de hidrohigrómetros.....	26
Figura 15. Termohigrómetros ubicados sobre paneles	28
Figura 16. Termo higrómetros ubicados sobre suelo.....	29
Figura 17. Temperatura sobre paneles solares - debajo - y en zona verde: Mina La Margarita.....	30
Figura 18. Ubicación de termohigrómetros sobre los paneles.....	31

Figura 19. Temperatura sobre paneles	32
Figura 20. Temperatura sobre paneles	32
Figura 21. Temperatura sobre paneles	33
Figura 22. Temperatura sobre paneles	34
Figura 23. Temperatura sobre paneles	34
Figura 24. Ubicación de termohigrómetros visita 3.....	36
Figura 25. Temperatura sobre paneles solares y zona verde: Mina la Margarita - visita 3.....	38
Figura 26. Índice Ultravioleta en Medellín	44
Figura 27. Tarifas y costo de energía eléctrica – Mercado regulado	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos Día 1. Cantera Santa Rita.....	21
Tabla 2. Diferencia entre: sobre roca y zona verde	23
Tabla 3. Datos Día 1	26
Tabla 4. Datos Día 2	27
Tabla 5. Temperatura	29
Tabla 6.....	32
Tabla 7.....	32
Tabla 8.....	33
Tabla 9.....	33
Tabla 10.....	34
Tabla 11. Temperatura	35
Tabla 12.....	37
Tabla 13.....	38
Tabla 14.....	39
Tabla 15. Diferencia entre: sobre roca y zona verde. Cantera Santa Rita	40
Tabla 16. Diferencia de temperatura: Mina La Margarita. Centro – izquierda vs. zona verde.....	40

Tabla 17. Diferencia de temperatura: Mina La Margarita. Centro – derecha vs. zona verde.....	41
Tabla 18. Diferencia entre punto mayor de temperatura sobre los paneles y zona verde: Mina la Margarita	41
Tabla 19. Temperatura promedio sobre paneles: Alta temperatura	42
Tabla 20. Comparación zona verde con temperatura promedio paneles: Alta temperatura	43
Tabla 21. Requerimiento energético: Cantera Santa Rita	43
Tabla 22. Presupuesto: Cantera Santa Rita	46

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en dos minas ubicadas en diferentes zonas del departamento de Antioquia, la primera es una mina de carbón que se llama La Margarita, en jurisdicción del municipio de Titiribí con explotación subterránea y a cielo abierto. La segunda es una cantera de agregados pétreos que se encuentra en la ciudad de Medellín. En la minería a cielo abierto se retira la capa orgánica superficial para extraer los elementos con los que se beneficia la mina, dejando roca expuesta, contribuyendo, puntualmente, al aumento de la temperatura de la zona, por lo que es importante encontrar alternativas que ayuden a disminuir el aumento de la temperatura que genera la explotación minera. Una de estas alternativas es utilizar paneles solares en las áreas que ya fueron explotadas y que se tardarán en intervenir, para con esto, disminuir la temperatura mientras se genera energía que ayuda económicamente a la empresa minera y que puede tener muchas otras ventajas.

La mina La Margarita cuenta con un sistema de 324 paneles solares del que se han beneficiado económicamente de manera satisfactoria y que usamos como ejemplo para la toma de datos que posteriormente serán ponderados para el hipotético uso de un sistema similar en la cantera Santa Rita. Para esta investigación se tomaron temperaturas (para la mina La Margarita), en zona vegetal, sobre los paneles solares en diferentes ubicaciones, y para la cantera Santa Rita, se tomaron datos en la zona vegetal y roca expuesta, dichos análisis arrojaron los siguientes resultados: la temperatura en la zona vegetal próxima a las áreas modificadas es mucho menor al resto de lugares comparados, es decir que la explotación minera sí contribuye al aumento de la temperatura. Al tomar los datos en diferentes puntos de los paneles solares evidenciamos que la temperatura aumenta al aproximarse al centro del sistema, es decir que entre más paneles tenga alrededor mayor será la temperatura, pues se acumula el calor, por lo cual es necesario calcular la temperatura promedio del sistema fotovoltaico. La temperatura de la roca expuesta es mucho mayor que todos los demás datos tomados, es decir que el sistema de paneles solares contribuye a la disminución del impacto en el aumento de la temperatura que genera la explotación minera. Finalmente, se calculó

la viabilidad económica de la implementación del sistema fotovoltaico y resulta ser muy viable y económicamente muy rentable para la empresa minera, pues la cantera tiene un requerimiento energético promedio de 140.170kWh que cuesta mucho dinero y solo generar el 20% mediante paneles solares puede recuperar la inversión en tan solo 25 meses y el resto de la vida útil de los paneles solo necesitarán mantenimiento, lo demás será utilidad. Todo lo anterior permite concluir que la propuesta es viable y además rentable para quien la desee implementar.

Palabras claves: Minería a cielo abierto, paneles solares, sistema fotovoltaico.

ABSTRACT

Proposal for the mitigation of thermal effects on the environment due to the exploitation of stone materials for construction. Pilot experience, Santa Rita mine in the municipality of Medellín

This study was accomplished in two mines located in different areas of Antioquia. The first one is "La Margarita", a coal mine in the jurisdiction of Titiribí, with underground and open-pit mining. The second one is a quarry of stone aggregates which is in Medellín city. In open-pit mining, the superficial organic layer is removed to extract the valuable elements, leaving exposed rock, increasing the temperature in the area, in this specific case, in the city of Medellín. Therefore, it is important to find alternatives to help reduce the temperature rise caused by mining activities. One such alternative is the use of solar panels in areas that have already been exploited and will take time to intervene again. This can decrease the temperature while generating energy, benefiting the mining company economically and offering various advantages.

La Margarita has a system of 324 solar panels, from which they have economically benefited satisfactorily. We use this as an example for data collection, which will later be extrapolated for the hypothetical use of a similar system in the Santa Rita quarry. For this research, temperatures were measured in the vegetative zone, on the solar panels at different locations in the La Margarita mine, as well as in the vegetative and exposed rock areas of the Santa Rita quarry. The analysis revealed the following results: the temperature in the vegetative zone near the modified areas is much lower than in the other compared locations, indicating that mining activities contribute to temperature increase. When data were collected at different points on the solar panels, it was evident that the temperature increases as one approaches the center of the system, meaning that the more panels are around, the higher the temperature, as heat accumulates. Therefore, it is necessary to calculate the average temperature of the photovoltaic system.

The temperature of the exposed rock is much higher than all other data collected, indicating that the solar panel system contributes to reducing the impact on the temperature increase caused by mining. Finally, the economic viability of implementing the photovoltaic system was calculated, and it proved to be highly viable and economically profitable for the mining company. The quarry has an average energy requirement of 140,170 kWh, which costs a significant amount of money. Generating only 20% of this through solar panels can recover the investment in just 25 months, and after this period, the panels will only need maintenance, rest will be profit. All the above leads to the conclusion that the proposal is absolutely feasible and profitable for anyone wishing to implement it.

Keywords: Open-pit mining, solar panels, photovoltaic system.

INTRODUCCIÓN

La minería a cielo abierto y subterránea es una industria indispensable para el desarrollo de los seres humanos, la encontramos en casi todo lo que usamos como acero, televisores, vidrios, elementos para vehículos, teléfonos celulares y por supuesto para las materias primas de la construcción, como bases, asfaltos, pavimentos, cemento, arena y agregados, es por esto que no debemos eliminarla sino desarrollar métodos que ayuden a que el impacto de esta industria, sobre el ambiente, sea lo menos dañino posible.

La construcción requiere de materiales pétreos que se obtienen de minas a cielo abierto como la Cantera Santa Rita, ubicada en la ciudad de Medellín, que con su actividad, aumenta la temperatura de su zona de explotación al retirar la capa orgánica y dejar la roca expuesta, esto a su vez, sumado a las construcciones y los cambios constantes de uso del suelo, contribuyen al aumento de la sensación térmica y de la temperatura de la ciudad, algo que hay que controlar y mitigar para no afectar drásticamente el ecosistema.

Como alternativa sostenible, para la solución de esta problemática, planteamos la instalación de paneles solares sobre área que ya ha sido explotada y que no se activará rápidamente, para esto usamos como objeto de estudio la Mina La Margarita en el municipio de Titiribí, Antioquia, que cuenta con un sistema de generación de energía a través de 324 paneles solares, tomamos la temperatura en diferentes puntos sobre los paneles solares, bajo los mismos y en zona vegetal a pocos metros del sistema, también, tomamos la temperatura sobre la roca expuesta y sobre material vegetal en la cantera Santa Rita. Igualmente, se realizó dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para la cantera anteriormente mencionada con el cálculo del costo que traería la implementación de la propuesta y en cuanto tiempo se podría recuperar la inversión.

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra situada en la ciudad de Medellín, capital del Departamento de Antioquia, en extremo suroccidental de la ciudad, comuna n°16, (Figura 1). Allí se encuentra la Cantera Santa Rita que se dedica a la explotación, producción y venta de materiales triturados y no triturados para la industria de la construcción. Geológicamente, esta zona se ubica sobre el stock de Altavista, un cuerpo de dioritas y cuarzodiorítitas, compuestas por silicatos (cuarzo, feldespatos ortoclasa y plagioclasas y los silicatos ferro magnesianos), rocas que en su capa superficial conforman suelos, areno-limosos, que sirven para la fabricación de ladrillos en la zona.

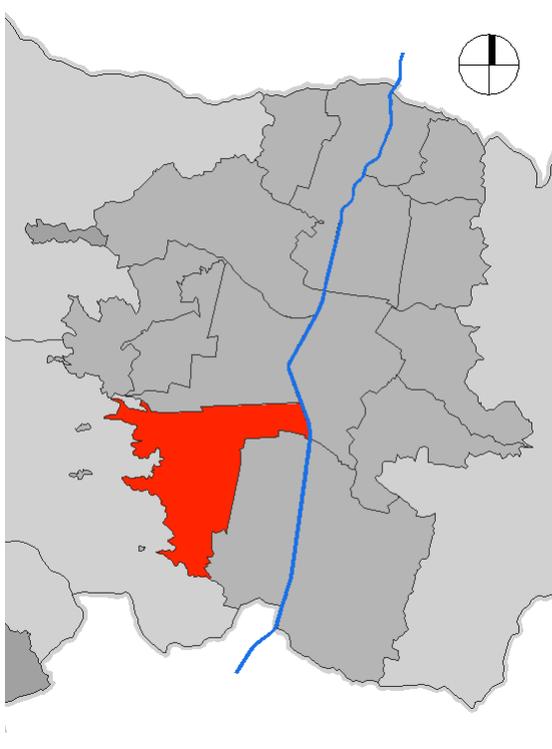


Figura 1. Localización de la zona de Estudio

2. PROBLEMA FORMULADO

¿Cómo se puede mitigar el impacto ambiental asociado al aumento de la temperatura generado por la explotación de materiales pétreos para la construcción en el Área Metropolitana de la ciudad de Medellín?

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

- ¿La instalación de celdas solares sobre la superficie explotada en la Cantera Santa Rita disminuye la temperatura ambiente promedio debido a la transformación de energía calórica en energía fotovoltaica aprovechable?
- ¿La dimensión de la cantera es un factor influyente sobre el impacto generado?
- ¿La propuesta de estudio es económicamente viable para su ejecución?

ELEMENTOS ORIENTADORES.

- "Calentamiento global"
- Radiación solar
- Energía solar
- Contaminación ambiental
- Celdas fotovoltaicas

3. OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un método que disminuya el impacto climático generado por la explotación de materiales pétreos en la Cantera Santa Rita, ubicada en el Municipio de Medellín, mediante la implementación de paneles solares.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar la eficiencia de los paneles solares para la mitigación del aumento de la temperatura en el caso de estudio.
- Dimensionar la infraestructura del sistema fotovoltaico que requiere la Cantera Santa Rita.
- Evaluar la viabilidad económica y ambiental del sistema planteado y su contribución en la ecosostenibilidad en el sector minero.

4. JUSTIFICACIÓN.

La construcción y la explotación de minas y canteras representó alrededor de 9% del producto interno bruto (PIB) de Colombia (Agencia Nacional de Minería, 2021), las cuales son actividades complementarias ya que para la construcción se requiere, además de cemento, la explotación minera de cantera de donde se obtiene arena y grava.

Para nadie es un secreto que la explotación minera genera cambios importantes en el medio en que se desarrolla, lo cual trae problemas para el normal desarrollo de su entorno como el aumento exagerado de la temperatura, gracias a la extracción de la capa vegetal para la explotación de canteras, la construcción de edificaciones y el reemplazo de la misma por placas de concreto de diferentes usos

A pesar de estar ubicados a menos de dos kilómetros de distancia, entre el Museo de Antioquia y el núcleo El Volador de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín se puede registrar diferencia de temperatura de más de dos grados centígrados en promedio un día cualquiera. Los alrededores de esos dos lugares son bien distintos: El museo está ubicado en el centro de la ciudad y rodeado por vías de alto tráfico mientras que el segundo está junto al cerro de El Volador, el parque natural más grande dentro del área urbana de Medellín. Las denominadas islas de calor son zonas de mayor temperatura dentro de una misma ciudad, que se generan en parte porque la ciudad es más seca que sus alrededores y porque las edificaciones acumulan energía térmica durante el día y la liberan al caer la tarde, haciendo que las primeras horas de la noche urbana sean más calientes. Súmese a esto la pérdida de las zonas verdes en la ciudad. (Universidad Nacional de Colombia, 2015), Las canteras de grava y arena son ubicadas dentro de las ciudades o lo más cerca posible para que su costo no sea elevado por el transporte, por lo cual se elimina la capa vegetal y la roca queda expuesta en áreas de gran dimensión, contribuyendo a la acumulación de la energía sobre la roca y por ende al aumento de la temperatura.

El gobierno colombiano, consciente de la importancia que tiene la conservación de los recursos y el medio ambiente, mediante la ley 1753 de 2015, "Por la cual se expide el plan nacional de desarrollo 2014-2018 <<Todos por un nuevo país>>" definió como uno de sus principales objetivos impulsar el "crecimiento verde", el cual busca avanzar sobre un crecimiento sostenible, proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural, lograr un crecimiento resiliente, reducir la vulnerabilidad frente al riesgo y el cambio climático, por medio de la transformación de los sectores hacia sendas más eficientes. (Congreso de la República de Colombia, 2015).

El Fenómeno del Niño y una posible crisis energética en Colombia (Saavedra, 2023) hace pertinente la generación de energías alternativas como la fotovoltaica, por medio de paneles solares, que además de traer un beneficio ambiental, proporciona energía aprovechable.

5. ANTECEDENTES

El sector minero cuenta con una hoja e ruta clara para enfrentar el cambio climático, que se presentó oficialmente en el Congreso Nacional de Minería, en octubre de 2022 contemplando nueve compromisos con acción a corto, mediano y largo plazo que ya están en fase de implementación, donde se destacan, promover la medición anual de la huella de carbono, definir acciones para disminuir emisiones de gases de efecto invernadero, impulsar la capacitación de los actores de la cadena de valor en la medición de su huella de carbono y la generación de proyectos enfocados en la reducción de gases de efecto invernadero, entre otros. (<https://acmineria.com.co/compromisos-cambio-climatico-2/>)

Se han realizado trabajos para mitigar diferentes impactos generados por la explotación minera como: el uso de paneles solares para obtener la energía necesaria para su operación por parte de la Mina La Margarita, (Mina La Margarita, s.f.), la construcción de parques en zonas donde se realizaba extracción de roca para la construcción, como sucede en la ciudad Curitiba en Brasil (Portal de Prefeitura de Curitiba, 2023), también se han recuperado zonas donde se realizaba extracción de oro, desarrollando granjas que son entregadas a la comunidad adyacente para su aprovechamiento. (Mineros S.A., 2014).

Esta investigación requirió visitar algunos de los lugares mencionados como los parques en Curitiba, Brasil, para ver el impacto que genera la recuperación de espacios que fueron usados para la explotación minera y su reincorporación al entorno, en el caso de dichos parques, además de la recuperación de la capa vegetal, la municipalidad obtiene recursos económicos porque se convierten en atractivos turísticos que hoy son símbolo de la ciudad.

Para hacer más rentable la construcción, los materiales pétreos como arena y grava deben estar cerca de los lugares donde serán usados, pues de no ser así, los gastos de transporte harían inviable su explotación o elevarían mucho los precios de los productos extraídos, por esta razón, muchas canteras se encuentran cerca de las zonas urbanas.

5.1. MINA LA MARGARITA.

Se encuentra ubicada en el municipio de Titiribí, Departamento de Antioquia- y se dedica a la extracción de carbón a cielo abierto y de forma subterránea, opera desde 1993, ha ido innovando en diferentes formas, usando incluso una locomotora eléctrica para transporte y sistema de paneles solares para sus requerimientos energéticos (Figura 2).

“En Mina la Margarita nos comprometemos aún más con el cuidado del medio ambiente. Para nadie es un secreto que el clima está cambiando y que se presentan lluvias más intensas y oleadas de calor cada vez más fuertes. Hoy, más que nunca, desde todos los sectores productivos debemos unir esfuerzos en la protección del medio ambiente y poder hacer frente al calentamiento global, por lo tanto, MINA LA MARGARITA en su compromiso ambiental que siempre la ha caracterizado desde su fundación, suscribe con EPM un convenio para consumir “energía verde”, que es aquella generada a partir de fuentes amigables y 100 % renovables, es decir que no emiten gases de efecto invernadero. ¡Ahora el consumo de energía en la mina subterránea es totalmente verde!, lo cual nos ha permitido compensar la emisión a la atmosfera de 24.82 Toneladas de CO2 en el periodo comprendido entre enero y junio de 2019”. (Mina la Margarita, 2013). Lo anterior muestra el compromiso de esta empresa minera con el cuidado del medio ambiente y la importancia de tomarla como referente para esta investigación.



Figura 2. Paneles solares Mina la Margarita (imagen propia)

5.2. PARQUE TANGUÁ.

Ubicado en la región norte de la ciudad de Curitiba, capital del estado de Paraná, se encuentra el parque Tanguá (Figura 3), fue fundado el 23 de noviembre de 1996, cuenta con 235.000 m², allí se encontraban antiguamente dos canteras de piedra. El parque es uno de los principales atractivos turísticos de la ciudad, preserva amplias zonas verdes próximas al nacimiento del Río Barigüi, una hermosa cascada, un espejo de agua gigante en la entrada, dos lagos y un túnel artificial, un mirador y sendero para bicicletas, son sus principales atractivos. (Portal de Prefeitura de Curitiba, 2023).

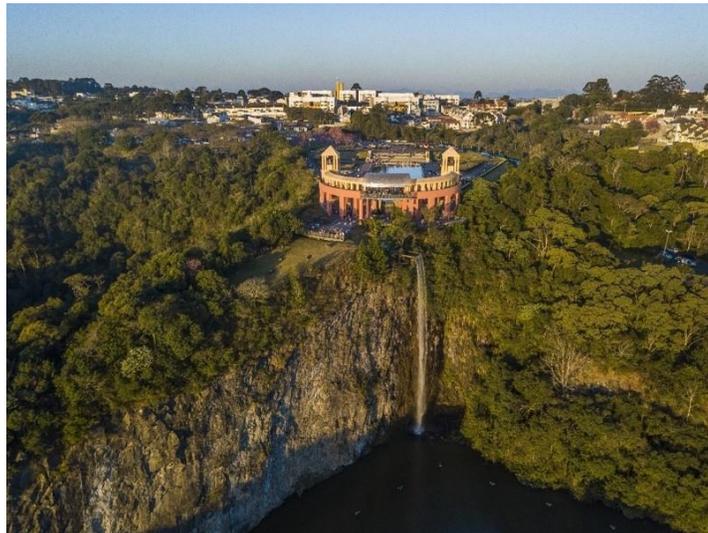


Figura 3. Parque Tanguá, Curitiba – Brasil - (Portal de Prefeitura de Curitiba, 2023).

5.3. PARQUE TINGUI.

Otro de los atractivos turísticos de Curitiba es el parque Tingúí (Figura 4), posee área de 427.492 m² y hace parte de un proyecto de parques que va a la orilla del río Barigúí. En este lugar existía una cantera de piedra de la familia Gava, la cual funcionó hasta 1995, año en el cual se inauguró el parque. Como atracciones principales tiene una estatua esculpida en bronce del Cacique Tindiquera, líder de la tribu Tingúí, que era la que habitaba la zona donde hoy está Curitiba, también tiene amplias zonas verdes, cancha y una casa que hace parte del memorial Ucraniano que conmemora el centenario de la migración Ucraniana a Brasil. (Portal da Prefeitura de Curitiba, 2023).



Figura 4. Parque Tingui. Curitiba – Brasil - (Portal de Prefeitura de Curitiba, 2023).

5.4. ÓPERA DE ARAME, PARQUE DAS PEDREIRAS.

Es uno de los dos principales lugares turísticos de Curitiba, el teatro de ópera fue construido con estructura tubular, por su apariencia débil, es llamado “Ópera de alambre” (traducción al español), techo en policarbonato transparente, el acceso es un puente que pasa sobre un lago artificial y al norte, una cascada (Figura 5). Cuenta con capacidad de 2400 espectadores y un palco de 400 m² y ha recibido a artistas tan importantes como el italiano Luciano Pavarotti y José María Carreras, entre otros.

A su lado tiene un gran parque donde antiguamente se encontraba la cantera municipal de material para asfalto y ahora es llamado Pedreira Paulo Leminski, con 103.000 m² puede tener aforo para 30.000 personas (Portal da Prefeitura de Curitiba, 2023) y es usado para grandes eventos como conciertos y eventos.



Figura 5. Ópera de Arape, Curitiba – Brasil – (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2021)

5.5. PARCELAS AGROFORESTALES, MINEROS S.A.

La empresa Mineros S.A. tiene un programa de manejo ambiental en la operación minera, el cual tiene reportes anuales con cifras, logros y proyecciones, en este programa, "las áreas de cargue y rellenos hidráulicos que dejan las unidades de producción aluvial, son intervenidas con maquinaria pesada con el fin de llevar sus pendientes por debajo del 30% y acondicionarlos para el posterior establecimiento de coberturas vegetales." (Mineros S.A., 2014). Informan en su memoria de sostenibilidad del año 2014, año durante el cual se reforestaron 82.2 Ha con 77.100 árboles, principalmente, especies nativas de crecimiento rápido y buen comportamiento en condiciones de áreas degradadas, mostrando que devuelven reforestadas las áreas que fueron explotadas para la extracción de minerales. Allí mismo, después de recuperar dichas zonas, hacen parcelas agroforestales (Figura 6) para beneficiar a la comunidad arraigada a las zonas de influencia de la empresa, vinculando grupos familiares de vocación agropecuaria que ayudan al desarrollo social y económico de la región.(Mineros S.A., 2014).



Figura 6. Parcelas agroindustriales - Mineros S.A. – (Mineros S.A., 2014).

6. MARCO TEÓRICO.

Esta investigación está compuesta fundamentalmente por varios elementos que serán detallados para lograr un acercamiento comprensible al tema de estudio, los más representativos son: materiales pétreos, minería a cielo abierto, canteras, concreto, calentamiento global, construcción sostenible, ciclos del agua, energía solar, entre otros.

6.1. MINERÍA.

Ciencia, técnicas y actividades que tienen que ver con el descubrimiento, explotación y beneficio de yacimientos minerales. Estrictamente hablando, el término se relaciona con los trabajos subterráneos encaminados al arranque y al tratamiento de una mena o la roca asociada. En la práctica, el término incluye las operaciones a cielo abierto, canteras, dragado aluvial y operaciones combinadas que incluyen el tratamiento y la transformación bajo tierra o en superficie (Glosario Técnico Minero, 2003).

6.1.1 MINA.

“Es el yacimiento, formación o criadero de minerales o de materiales fósiles, útiles y aprovechables económicamente, ya se encuentre en el suelo o en el subsuelo” (Glosario Técnico Minero, 2003).

6.1.2. TIPOS DE MINERÍA.

“Se agrupan 4 básicamente, 1) Minería de superficie o a cielo abierto, este incluye la inmensa mayoría de las minas de todo el mundo. En esta denominación se sitúan la mayoría de canteras; 2) Minería subterránea, en la que el acceso al depósito se realiza por medio de túneles, galerías, inclinados o pozos; 3) Minería por pozos de perforación, utilizada para la recuperación de sustancias minerales y combustibles a través de pozos, y 4) Minería subacuática o por dragado” (CAR, 2009).

6.1.3. MINERÍA A CIELO ABIERTO.

Constituye a el sector más amplio de la minería; puede emplearse para extraer cualquier tipo de material, sus denominaciones son de acuerdo al material extraído, por ejemplo: 1) explotaciones de minas a cielo abierto, suelen estar dedicadas a la obtención de metales; 2) las explotaciones al descubierto, se suelen dedicar a la explotación de carbón y materiales industriales; 3) las minas de placer, suelen dedicarse a la obtención de minerales y metales pesados (con frecuencia oro, pero también platino, estaño y otros) y 4) las canteras, suelen dedicarse a la extracción de materiales de construcción.

Para obtener algunas de las más importantes materias primas para la construcción como arenas, gravas o piedra triturada, también llamados agregados, se explotan canteras o minas a cielo abierto. (Universidad Tecnológica Centroamericana, 2010).

Para lograr esta explotación minera es necesario hacer un cambio importante a la superficie, pues el elemento a explotar se encuentra por debajo de algunas capas de material orgánico, suelo y saprolito que deben ser removidas, lo cual modifica el sistema que ha funcionado durante miles de años dejando la roca expuesta sin ningún tipo de material vegetal que absorba la energía para su proceso de fotosíntesis.

6.1.4. CANTERAS.

“Son depósitos de materiales aprovechables que se extraen de un macizo rocoso de buena calidad, así como de depósitos provenientes de la acumulación de materiales transportados, cuyo fin es industrial y ornamental; generalmente su extracción se hace a cielo abierto, en excavaciones tridimensionales con uno o varios niveles (banqueo), según la disposición estructural del depósito y la topografía del lugar. Las canteras se clasifican por el método de aprovechamiento, y se diferencian así, las canteras ubicadas en terrenos horizontales (explotadas en *open pit* hasta cierta profundidad en el subsuelo), de aquellas mucho más numerosas practicadas en la ladera, así como las canteras de material de

arrastre, o las subterráneas, todas ellas tienen como objeto la obtención de materiales de construcción” (CAR, 2009). Existe una clasificación precisa dependiendo de la competencia o el material extraído, entonces, se dice que la cantera extrae materiales de peña y la gravillera lo hace de fuentes de material que ha sido transportado y depositado, y por tanto de baja consolidación, esta característica es muy importante, pues la secuencia de extracción es muy importante.

Para contar con materias primas a mejor precio se explotan lo más cerca posible de su lugar de uso, como es el caso de la mina en estudio, localizada dentro de la ciudad de Medellín, exactamente en el barrio Belén los Alpes, con lo cual el impacto que genera esta actividad se siente directamente en la ciudad (Figura 7).



Figura 7. Cantera Santa Rita Medellín - (Cantera Santa Rita, s.f.)

La explotación de canteras es muy similar a la de las minas a cielo abierto, la diferencia es que se extrae material para la construcción y minerales industriales, entonces, casi todo el material extraído se convierte después en algún producto, generando muy poco desecho.

6.1.5. CANTERAS DE PEÑA O ROCA.

Más conocidas como canteras de peña, tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada, donde pueden ser ígneas, sedimentarias o metamórficas; estas canteras, por su condición estática,

no presentan las características de autoabastecimiento, lo cual las hace fuentes limitadas de material. Las canteras de peña están ubicadas en formaciones rocosas, peñascos, con materiales generalmente de menor dureza que los materiales de río debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región y permiten producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan mediante cortes o excavaciones en los depósitos (CAR, 2009).

Una buena clasificación de canteras de roca o peña, hacen referencia al relieve del terreno original en que se ubican, así:

- Canteras en terrenos horizontales
- Canteras en ladera
- Supercanteras a cielo abierto o complejos mineros
- Canteras subterráneas

6.2. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.

El acelerado crecimiento demográfico, la constante migración de personas a las grandes urbes y zonas urbanizadas desde las áreas rurales genera gran transformación de las ciudades por medio de la construcción, dicha transformación viene acompañada de grandes beneficios para la sociedad como por ejemplo vías, escuelas, viviendas más cómodas, entre otros elementos que mejoran la vida de las personas, pero a su vez traen contaminación que se define como "la presencia de cualquier sustancia, material o energía que puede ocasionar algún daño o desequilibrio en el medio ambiente, ya sea en el aire, en el agua o en el suelo y que pueda afectar negativamente y a los demás seres vivos" (Romero, 2010, p. 10). En nuestro caso, las canteras que proveen la materia prima para la construcción generan cambios en el aire y la temperatura que pueden afectar negativamente el ambiente.

6.2.1. CONTAMINACIÓN DEL AIRE.

El aire se contamina cuando los elementos que lo conforman sufren alteraciones o cuando se presentan sustancias extrañas en él. Estas sustancias también pueden ser gases o sólidos que debido a su liberación constante son considerados elementos cotidianos del aire, sobre todo en las grandes ciudades. Entre estos se encuentran el bióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno, que son producto principalmente de la acción del hombre y que actualmente son los responsables de la contaminación del aire en muchas ciudades. Si bien, la atmósfera puede ser contaminada con diversos elementos, solo algunos han sido atendidos por considerar que a ciertos niveles pueden ser una amenaza para la salud y el bienestar

humano, como por ejemplo el Monóxido de carbono. (Romero, 2010, p. 22).

Es común que en las canteras se contamine el aire por sólidos y por sustancias gaseosas al dejar expuestas zonas de arenas o materiales más finos con micropartículas que van al aire arrastradas por el viento o que se use maquinaria amarilla como retro excavadoras, tractores, dumper, entre otras, que funcionan con combustibles fósiles y contaminan el ambiente.

6.2.2. DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂).

El dióxido de carbono es un componente natural de la atmosfera terrestre. Se produce cuando la materia orgánica es quemada, desgastada por la intemperie o descompuesta biológicamente; además, es un elemento necesario para la realización de las funciones vitales de las plantas. El desarrollo agroindustrial, que ha propiciado una enorme disminución o destrucción de zonas de bosque, y el aumento de la quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón han provocado actualmente un desequilibrio en el contenido original de este gas en el aire, pues los depósitos terrestres (bosques y océanos) no son capaces de absorber el nuevo CO₂ con la misma velocidad con la que el hombre lo está produciendo. Este gas es removido de la atmosfera por acción de las plantas que lo utilizan para realizar la fotosíntesis.

Este gas no es muy tóxico para el organismo humano, no obstante, puede producir efectos importantes en el clima, pues se ha comprobado que es uno de los gases causantes del fenómeno conocido como efecto invernadero, responsables del calentamiento de la superficie terrestre (Romero, 2010, p. 24).

Entonces, para la explotación de canteras se extrae la capa vegetal que absorbe el CO₂ y gran parte de la energía solar para su proceso de fotosíntesis.

6.2.3. CALENTAMIENTO GLOBAL.

“El calentamiento global es el incremento en el valor promedio de la temperatura de la superficie del planeta que se ha venido presentando aproximadamente desde la mitad del siglo pasado”. (Romero, 2010, p. 91).

En las últimas décadas se han venido presentando cambios importantes en muchas condiciones ambientales de nuestro planeta y como resultado de diferentes estudios se ha obtenido que muchas de las alteraciones se han dado por el rápido aumento de la temperatura del planeta. “Los registros de temperatura que se remontan a finales del siglo XIX muestran que la temperatura promedio de la superficie de la tierra ha

aumentado en aproximadamente 0,8°C en los últimos 100 años. Casi 0,6°C de este calentamiento ocurrió en las últimas 3 décadas.” (BBC News Mundo, 2018)

El incremento de la temperatura en la ciudad de Medellín ha generado un creciente uso de aire acondicionado en las viviendas. Por ejemplo, en 2009 las viviendas del sector socioeconómico de bajos recursos no tenían instalado ningún equipo para acondicionamiento de aire. Sin embargo, en los años posteriores (2010 y 2013), este mismo sector reportó más de 50 viviendas con equipos instalados (Betancur, Serna, & González, 2019) (Restrepo, Peña, Martínez, (2019).

La mayoría de los investigadores coinciden que este acelerado cambio se debe al incremento de los niveles de bióxido de carbono (CO₂) y otros gases que provocan el efecto invernadero en la atmosfera terrestre. (Romero, 2010).

6.2.4. EFECTO INVERNADERO.

Es el mecanismo por el cual la atmósfera de la tierra se comporta como una gran bola de vidrio que permite a los rayos solares pasar a través de ella, evitando al mismo tiempo que el calor generado por estos escape al espacio, de esta manera, la temperatura del planeta se aumenta. (Romero, 2010).

Los gases de efecto invernadero incluyen dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y vapor de agua (NASA, 2023).

6.2.5. ISLA DE CALOR.

El término isla de calor se refiere al aumento de la temperatura de la atmósfera y las superficies en las áreas urbanas en comparación con sus entornos naturales o no urbanizados. El Área Metropolitana del Valle de Aburrá publicó un artículo llamado “Cuando las ciudades se calientan”, donde explica muy bien este fenómeno en la ciudad de Medellín y su área Metropolitana indicando que: “La isla de calor depende de factores como la latitud, la altura sobre el nivel del mar, la topografía, el tamaño de la ciudad y la estabilidad atmosférica. En efecto se potencializa en países tropicales como el nuestro” (Área Metropolitana Valle de Aburrá, 2021).

En el estudio de la síntesis del clima para el Valle de Aburrá que realizó en Área Metropolitana para formular su plan de acción ante el cambio y la Variabilidad Climática 2019 – 2030 se estudiaron las islas de calor presentes en los 10 municipios, encontrando los barrios más calientes y los más frescos.

“En Medellín, por ejemplo, los sectores con mayores temperaturas son Tenche, Everfit, Calle Nueva, Noel y Guayabal, entre 37,8°C y 38,6°C, mientras que San José de la Cima, La Cruz y Versalles en Santa Elena, tienen temperaturas entre 23,78°C y 23,09°C. Los expertos explican que la temperatura media de una ciudad de más de un millón de habitantes puede ser mayor entre 1°C y 3°C a las de sus alrededores. Y en la noche, puede subir hasta 12°C porque las estructuras de construcción liberan el calor que reciben en el día”, (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2021)

6.2.5. AUMENTO DE LA TEMPERATURA EN MEDELLÍN.

Se evalúa el comportamiento de la temperatura (mínima, media, máxima) y la humedad relativa durante 5 décadas (1960–2010). El análisis realizado permitió establecer un incremento promedio de la temperatura media de 0,8°C, de 1,3°C para la temperatura mínima y de 0,5°C para la temperatura máxima, mientras que la humedad relativa presentó una tendencia a disminuir en promedio 2,3% al comparar el último valor reportado (2010) con respecto al primero (1960). Con base en estos resultados y la información recopilada, se pudo establecer que la ciudad de Medellín ha sufrido un cambio climático en el cual han influenciado y aportado de forma significativa las actividades antrópicas como i) crecimiento del número de vehículos que circulan por la ciudad y que son los principales generadores de GEI (Gases de efecto invernadero), ii) incremento de la población, la expansión territorial (urbanismo) y iii) la industrialización (Restrepo et al., 2019).

6.3. ENERGÍA SOLAR.

El sol es una estrella, formada casi toda por hidrógeno y una pequeña porción de helio, en la que se desarrolla una gran cantidad de energía debido a una reacción nuclear de fusión, reacción que tiene lugar gracias a las altas temperaturas y presiones que alcanzan en su interior. (Jutglar, 2004)

6.3.1. RADIACIÓN SOLAR.

Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas. (Jutglar, 2004)

6.3.2. EFECTO FOTOVOLTAICO.

El efecto fotovoltaico que se produce en algunos elementos químicos (silicio, germanio, etc.) es la capacidad de absorber fotones (partículas de

luz) y liberar a continuación una corriente continua de electrones (Vilaseca & Barrio, 2017) (Casa, Barrio, 2017).

6.3.3. CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de la celda depende fundamentalmente del proceso de fabricación, varía normalmente de unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o más y su forma puede ser circular, cuadrada o elíptica.

6.3.4. PANELES SOLARES.

Son módulos fotovoltaicos individuales que captan la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad. Están formados por celdas solares que a su vez contienen células solares individuales hechas de materiales semiconductores como el Silicio (cristalino y amorfo) que transforman la luz (fotones) en energía eléctrica (electrones). (Celsia, 2018)

Los módulos solares se pueden conectar:

- En serie: Por ejemplo, si tenemos un módulo de 12 V y 1,5 A y lo conectamos en serie con otro módulo de las mismas características tendremos un conjunto de dos módulos de 24 V y 1,5 A (se suman los voltajes y se mantienen las intensidades).
- En paralelo: Si tenemos los dos módulos del ejemplo anterior y los conectamos en paralelo, tendremos un conjunto de 12 V y 3 A (se mantienen los voltajes y se suman las intensidades) (Vicente, 2009).

6.3.5. TIPOS DE PANELES SOLARES.

Silicio monocristalino: Fabricación de células monocristalinas. El color es monocromático: azul oscuro y con brillo metálico. El rendimiento sobre el 19% en modelos comerciales.

Silicio policristalino: Formado por el agrupamiento de cristales de silicio. Tienen el aspecto de una amalgama de cristales de diferentes tonos azules y grises con un brillo metálico. El rendimiento no sobrepasa el 15% en modelos comerciales. El costo de fabricación de este modelo es menor al anterior.

Silicio amorfo: ha desaparecido la estructura cristalina ordenada y el Silicio se ha depositado formando una capa fina. Sus colores son el marrón y el gris oscuro. Se utilizan en calculadoras y otros pequeños objetos. El rendimiento no sobrepasa el 9% en modelos comerciales (Casa, Barrio, 2017).

6.4. CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.

En la literatura se pueden encontrar múltiples definiciones sobre construcción sostenible, pero la que más se aproxima al estudio que se desarrolla en este texto es la escrita por el profesor de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Luis Fernando González Escobar en el prólogo del libro Construcción Sostenible, para volver al camino, que dice "Construcción Sostenible, aquella que es respetuosa y comprometida con el Medio Ambiente, hace un uso sostenible de la energía, minimiza sus impactos, reduce el consumo energético, no desperdicia materiales sino que reutiliza y recicla, entre otros aspectos." (Bedoya, 2011).

6.5. TERMOHIGRÓMETRO.

Un elemento fundamental de esta investigación fue el termohigrómetro que es un equipo mide la temperatura y la humedad relativa del aire y del medio ambiente, se basan en sensores que miden la conductividad eléctrica de un material a distintas temperaturas y humedades (Equipos y Laboratorio de Colombia, s.f.).

7. METODOLOGÍA.

Para este trabajo fueron analizadas las temperaturas sobre varias superficies en dos minas a cielo abierto, la primera es la Mina La Margarita, ubicada en el municipio de Titiribí y la segunda la Mina Santa Rita, ubicada en el municipio de Medellín, a un metro sobre paneles solares, pasto o zona verde y roca expuesta. El criterio de selección de las minas fue porque la Mina La Margarita cuenta con un sistema de paneles solares y la Mina Santa Rita porque tiene minería a cielo abierto dentro de la ciudad de Medellín.

7.1. Recolección de datos.

Para la toma de datos se tuvieron presente las horas de mayor índice ultravioleta de la zona que generalmente van desde las 12:00m hasta las 3:30pm y pues son los momentos donde se tienen las temperaturas más altas cómo se muestra en la figura 8.

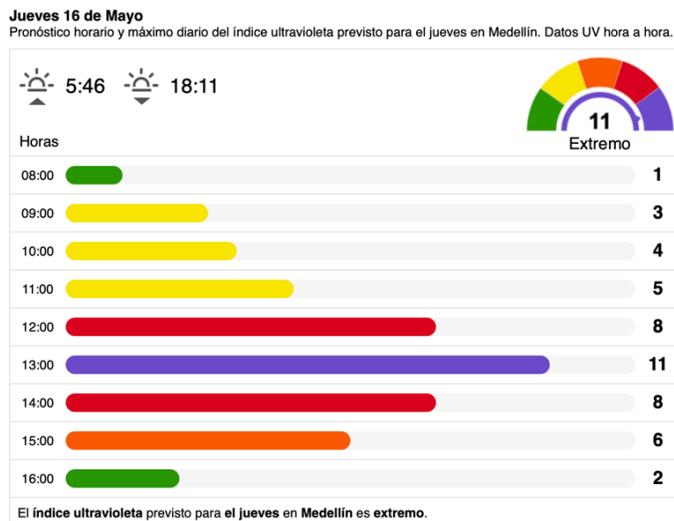


Figura 8. Índice ultravioleta - (Tutiempo.net, 2024)

7.2. Toma de temperatura.

Por medio termohigrómetros, a 1.00m de altura de la superficie del suelo y de los paneles solares, se logró hallar la temperatura ambiente sobre las diferentes superficies analizadas y la humedad relativa de las mismas como se ve en la (Figura 9).



Figura 9. Toma de temperatura

Para determinar la altura de toma de datos, se analizó la temperatura sobre los paneles solares que dio como resultado valores por encima de los 57°C y como lo que se buscaba era analizar la diferencia de temperatura en el ambiente circundante, el registro a 1.00m de altura en las horas de baja radiación solar se acercan mucho a los valores de los datos hallados sobre la capa vegetal.

El Termohigrómetro indica en la parte superior central la temperatura en grados Celsius o Kelvin, en este caso usé grados Celsius, en la parte superior izquierda si dice IN, indica que se está usando el panel para tomar los datos o OUT si se usa la sonda de temperatura externa o también llamada termocupla, en la parte inferior derecha muestra la humedad relativa y en la parte inferior izquierda la hora.

Cada uno de los equipos fue calibrado por la empresa Equipos y Laboratorios de Colombia.

7.3. Dimensionamiento para el requerimiento energético de la Mina Santa Rita.

La energía fotovoltaica recolectada por medio de paneles solares es muy buena alternativa para cuidar el medio ambiente y la economía de las empresas que tienen grandes demandas energéticas y que cuentan con superficies adecuadas para la instalación de estos sistemas, como es el caso de la Mina Santa Rita, que cuenta con operación de oficinas, bodegas, centros de almacenamiento, bandas de transporte de materiales, entre otros elementos que requieren energía eléctrica y área suficiente para la instalar este sistema.

Por todo lo anterior Se busca dimensionar un sistema de paneles solares que pueda brindar parte del requerimiento energético de la mina, con toda la infraestructura y obra civil requerida para su puesta en marcha, cuál es la viabilidad económica de la misma y determinar si vale la pena o no realizar esta inversión.

8. PRESENTACION Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS

8.1. Datos Cantera Santa Rita.

La cantera Santa Rita (Figura 10), es una mina a cielo abierto para la explotación de agregados pétreos para la construcción, se encuentra al occidente de la ciudad de Medellín.

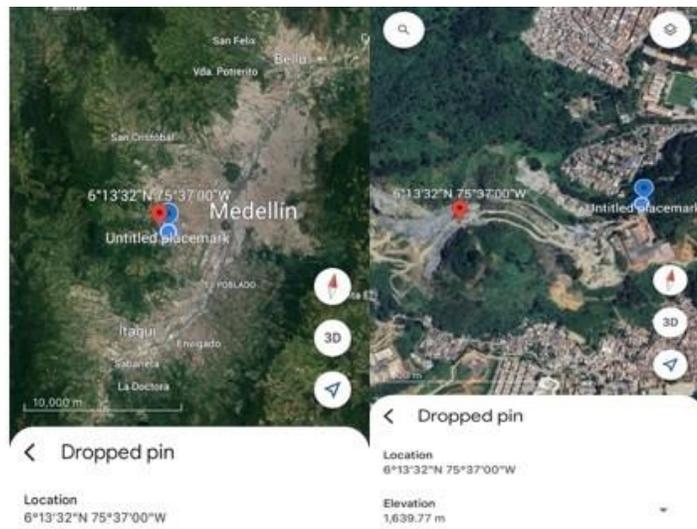


Figura 10. Ubicación Cantera Santa Rita

Elevación de 1.639 metros sobre el nivel del mar.

8.1.1. Resultados - toma de datos Cantera Santa Rita.

Se tomaron los registros de la temperatura en tres zonas con características distintas como, zona verde, zona con la roca expuesta donde se realiza la explotación y un área intermedia entre las anteriores que se usa como vía.

Tabla 1. Datos Día 1: Cantera Santa Rita

DATOS DÍA 1. CANTERA SANTA RITA				
Fecha	Ubicación	Hora aprox.	Temperatura (°C)	Humedad (%)
18/10/2023	SOBRE ROCA	12:20	33,1°C	37%
18/10/2023	ZONA VERDE	12:20	28,8°C	38%
18/10/2023	VÍA - SUELO	12:20	28,5°C	44%
18/10/2023	SOBRE ROCA	12:30	35,2°C	35%
18/10/2023	ZONA VERDE	12:30	29,6°C	27%
18/10/2023	VÍA - SUELO	12:30	32,6°C	37%
18/10/2023	SOBRE ROCA	12:40	31,0°C	31%
18/10/2023	ZONA VERDE	12:40	28,2°C	23%
18/10/2023	VÍA - SUELO	12:40	28,6°C	30%
18/10/2023	SOBRE ROCA	13:00	32,0°C	32%
18/10/2023	ZONA VERDE	13:00	28,4°C	32%
18/10/2023	VÍA - SUELO	13:00	29,2°C	32%
18/10/2023	SOBRE ROCA	13:10	34,4°C	29%

18/10/2023	ZONA VERDE	13:10	29,2°C	30%
18/10/2023	VÍA - SUELO	13:10	32,4°C	27%
18/10/2023	SOBRE ROCA	13:30	32,2°C	39%
18/10/2023	ZONA VERDE	13:30	28,2°C	32%
18/10/2023	VÍA - SUELO	13:30	30,3°C	28%
18/10/2023	SOBRE ROCA	13:40	32,2°C	26%
18/10/2023	ZONA VERDE	13:40	28,8°C	31%
18/10/2023	VÍA - SUELO	13:40	29,4°C	29%
18/10/2023	SOBRE ROCA	14:00	31,1°C	32%
18/10/2023	ZONA VERDE	14:00	28,1°C	33%
18/10/2023	SOBRE ROCA	14:20	28,1°C	43%
18/10/2023	ZONA VERDE	14:20	25,8°C	47%

Los datos fueron tomados el 18 de octubre de 2023 después obtener las autorizaciones necesarias para realizar el estudio en una cantera dentro de la ciudad de Medellín y después de tener muchos días de lluvia o de poco sol, incluso el día estuvo muy nublado (Figura 11) y a las 2 de la tarde comenzó a llover en la zona, por lo cual se suspendió el registro de temperaturas.



Figura 11. Toma de datos con día nublado

8.1.2. Temperaturas – Cantera Santa Rita.

Al comparar los datos obtenidos en la zona verde con los de la zona donde se encuentra la roca expuesta (Tabla 2), se evidencia un aumento de temperatura importante.

Tabla 2. Diferencia entre: sobre roca y zona verde

DIFERENCIA ENTRE: SOBRE ROCA Y ZONA VERDE						
Fecha	Hora aprox.	Sobre roca (°C)	Zona verde (°C)	Diferencia (°C)	Aumento (%)	Promedio (°C)
27/09/2023	12:20	33,1°C	28,8°C	4,3°C	15%	3,80°C
27/09/2023	12:30	35,2°C	29,6°C	5,6°C	19%	
27/09/2023	12:40	31,0°C	28,2°C	2,8°C	10%	
27/09/2023	13:00	32,0°C	28,4°C	3,6°C	13%	
27/09/2023	13:10	34,4°C	29,2°C	5,2°C	18%	
27/09/2023	13:30	32,2°C	28,2°C	4,0°C	14%	
27/09/2023	13:40	32,2°C	28,8°C	3,4°C	12%	
27/09/2023	14:00	31,1°C	28,1°C	3,0°C	11%	
27/09/2023	14:20	28,1°C	25,8°C	2,3°C	9%	

El aumento de la temperatura va desde el 9% hasta el 19% y se puede evidenciar que, a mayor temperatura de la roca, se hace mayor la diferencia con la temperatura de la zona verde, lo cual indica que cuando aumenta la temperatura, la roca se calienta mucho más rápido que la zona verde o zona vegetal (Figura 12).

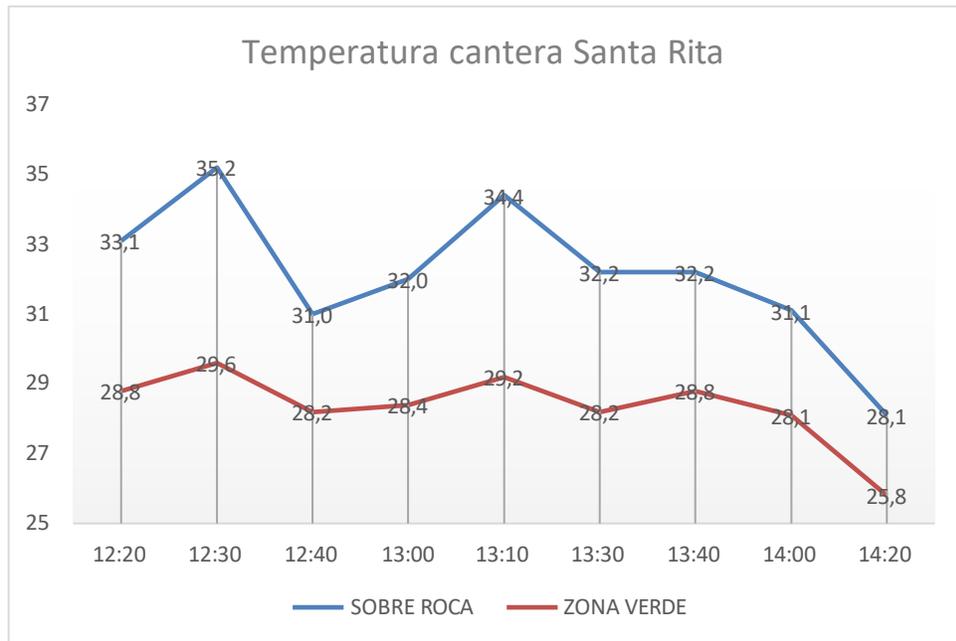


Figura 12. Temperatura Cantera Santa Rita

Hay que tener en cuenta que estos datos se tomaron en un día nublado que no permitió tomar datos muy altos de temperatura del área circundante a la roca expuesta.

La temperatura en Medellín según los reportes meteorológicos de weather.com es de 28°C que es muy cercana a la que nos registra en la zona verde con nuestros equipos (Figura 13). También es posible corroborar en el reporte del clima que es un día nublado y que los días posteriores serán similares. Esto afecta la investigación porque es ideal tener temperaturas más altas para ver la mayor diferencia posible entre los datos obtenidos en las diferentes ubicaciones, aun así, se ven diferencias significativas.



Figura 13. Temperatura en Medellín

8.2. Datos Mina La Margarita.

La Margarita es una mina de carbón ubicada en jurisdicción del municipio de Titiribí, departamento de Antioquia a algunos kilómetros antes del casco urbano del municipio, esta mina tiene explotación subterránea y a cielo abierto (Figura 14). Tiene una elevación de 1.191 metros sobre el nivel del mar.

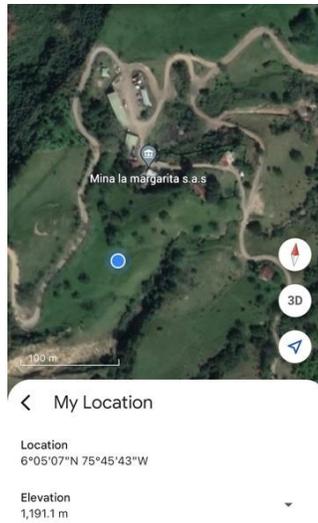


Figura 14. Ubicación Mina La Margarita

El uso de paneles solares en la minería en Colombia es muy poco común pero ya existen empresas como Mina la Margarita que buscan un equilibrio, entre la afectación medio ambiental que puede generar su actividad comercial con el uso de energías renovables como la solar. Es por esto que se tomó como zona de estudio, pues cuentan con 324 paneles solares instalados que tienen 14.000KWh teórico pero que por la radiación ha tenido mejor desempeño que el esperado con 16.000KWh. Esto les alcanza para suplir entre el 25% y 30% de su requerimiento energético.

En la zona de estudio se analizó la temperatura en diferentes superficies (Figura 15) que son:

- Sobre los paneles solares en la mitad de todo el sistema.
- Sobre los paneles solares en los extremos del sistema.
- Bajo la sombra de los paneles solares.
- Sobre la zona verde adyacente al área de paneles solares a aproximadamente 40m de distancia de cualquier panel solar.

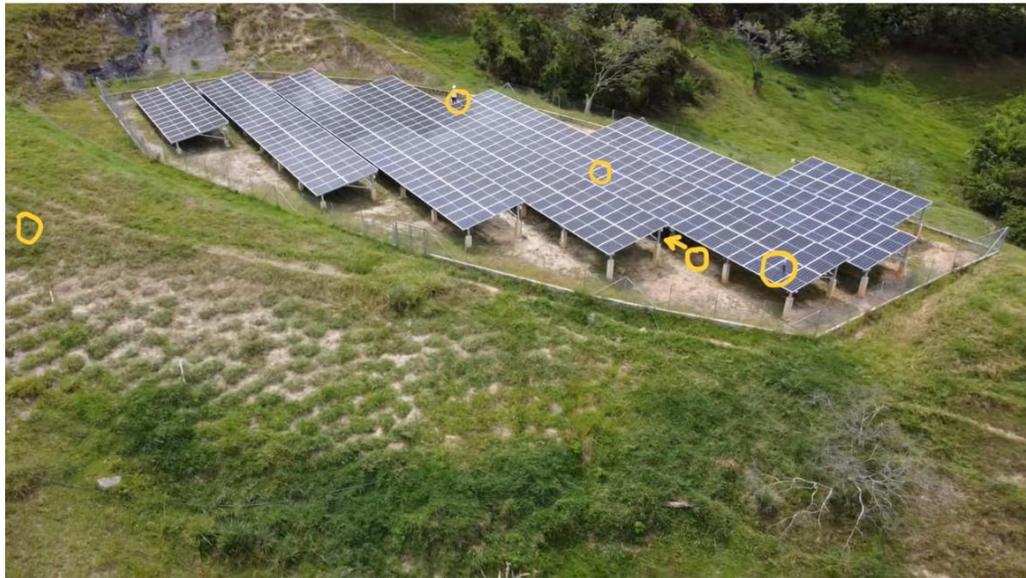


Figura 15. Ubicación de hidrohigrómetros

8.2.1. Resultados toma de datos Mina La Margarita.

Inicialmente se tomaron los datos de temperatura y humedad con un solo equipo cada 20 minutos aproximadamente, pero fue evidente que para lograr una comparación acertada era necesario usar por lo menos 3 equipos en diferentes posiciones (Tabla 3).

Tabla 3. Datos Día 1

DATOS DÍA 1				
Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura	Humedad
20/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:19	32,1	24%
20/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:25	31,6	24%
20/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:45	30,4	30%
20/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	14:06	30,2	33%
20/09/2023	CENTRO - BAJO SOMBRA	14:27	29,3	42%
20/09/2023	ZONA VERDE	14:39	29,3	38%
20/09/2023	CENTRO - SOBRE	15:02	30,0	39%

Los resultados fueron muy parecidos porque a medida que pasaba el tiempo disminuía la temperatura, entonces parecía no haber mucha diferencia entre las superficies, por lo cual fue necesario repetir la toma de datos con tres equipos al mismo tiempo.

El 27 de septiembre de 2023 se tomaron los datos nuevamente con 3 termohigrómetros (Figura 16), fue un día de intenso calor con temperaturas muy altas (Tabla 4).

Tabla 4. Datos Día 2

DATOS DÍA 2				
Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Humedad(%)
27/09/2023	CENTRO - BAJO SOMBRA	12:21	31,0°C	44%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	12:21	36,1°C	39%
27/09/2023	ZONA VERDE	12:22	31,7°C	40%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	12:41	35,4°C	41%
27/09/2023	CENTRO - BAJO SOMBRA	12:41	30,1°C	43%
27/09/2023	ZONA VERDE	12:41	32,7°C	40%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	13:00	31,9°C	34%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:00	35,4°C	40%
27/09/2023	ZONA VERDE	13:01	31,7°C	38%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	13:15	32,9°C	34%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:14	35,9°C	40%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	13:14	32,5°C	44%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	13:20	32,9°C	42%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:20	35,4°C	40%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	13:20	32,4°C	32%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	13:52	31,1°C	43%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:51	34,8°C	44%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	13:51	30,9°C	35%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	14:00	31,1°C	50%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	14:00	33,3°C	48%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	14:00	31,2°C	37%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	14:20	30,0°C	46%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	14:20	34,6°C	44%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	14:20	30,3°C	38%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	14:31	31,2°C	34%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	14:30	35,4°C	41%
27/09/2023	ZONA VERDE	14:30	32,1°C	42%
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	15:00	31,7°C	29%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	15:00	37,2°C	36%
27/09/2023	ZONA VERDE	15:00	33,7°C	35%

27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	15:10	31,2°C	28%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	15:10	36,9°C	36%
27/09/2023	ZONA VERDE	15:11	31,0°C	37%
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	15:30	29,8°C	37%
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	15:30	32,5°C	44%
27/09/2023	ZONA VERDE	15:30	29,8°C	43%

Se puede ver que los datos se ubican por ternas que se tomaron más o menos a la misma hora, con desviación de dos minutos en algunos casos (Figura 17).



Figura 16. Termohigrómetros ubicados sobre paneles

Los medidores se ubicaron sobre los paneles, exactamente en los extremos del sistema y en el centro para determinar si existen diferencias de temperatura según la ubicación longitudinal pues en los extremos se tiene proximidad con la zona vegetal y en el centro pueden existir concentraciones de energía, también fueron instalados en la zona verde y debajo de los paneles.



Figura 17. Termo higrómetros ubicados sobre suelo

8.2.2. Análisis de resultados Mina La Margarita.

Para analizar los datos en conjunto para identificar patrones de comportamiento y compararlos entre las diferentes ubicaciones de los equipos, se grafican todos los datos hallados en la segunda visita.

Cada momento exacta cuenta con una terna de datos dada por los resultados de los 3 equipos, algunas veces se cambia la ubicación de alguno de los equipos para conseguir datos de las 5 ubicaciones posibles (Tabla 5).

Tabla 5. Temperatura

Fecha	Hora	Temperatura				
		Centro - Sobre (°C)	Centro - Bajo Sombra (°C)	Zona Verde (°C)	Extremo Izq. - Sobre (°C)	Extremo Der. - Sobre (°C)
27/09/2023	12:21	36,1°C	31,0°C	31,7°C		
27/09/2023	12:41	35,4°C	30,1°C	32,7°C		
27/09/2023	13:00	35,4°C		31,7°C	31,9°C	
27/09/2023	13:14	35,9°C			32,9°C	32,5°C
27/09/2023	13:20	35,4°C			32,4°C	32,9°C
27/09/2023	13:51	34,8°C			30,9°C	31,1°C
27/09/2023	14:00	33,3°C			31,2°C	31,1°C
27/09/2023	14:20	34,6°C			30,3°C	30,0°C
27/09/2023	14:30	35,4°C		32,1°C	31,2°C	

27/09/2023	15:00	37,2°C		33,7°C	31,7°C	
27/09/2023	15:10	36,9°C		31,0°C		31,2°C
27/09/2023	15:30	32,5°C		29,8°C		29,8°C

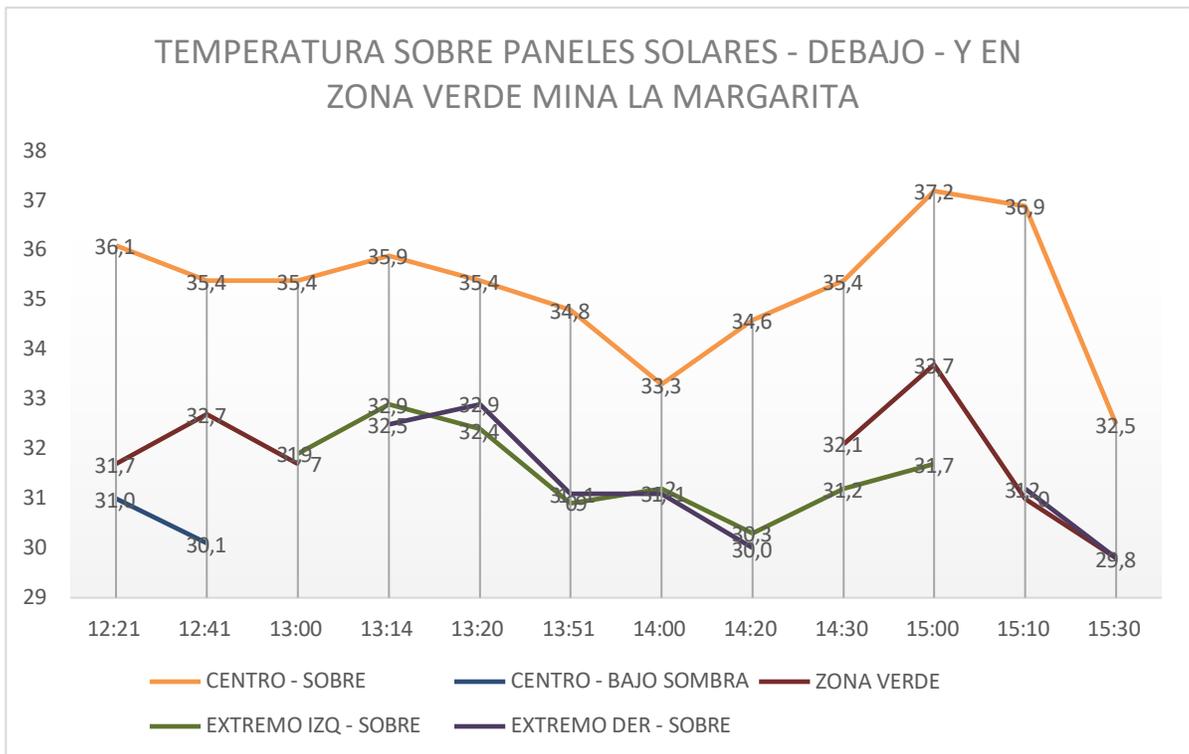


Figura 18. Temperatura sobre paneles solares - debajo - y en zona verde: Mina La Margarita

Se observa que las curvas de los datos obtenidos tienen una forma más o menos parecida en cada momento de registro, lo cual indica que el aumento o disminución de la temperatura se percibe en las diferentes ubicaciones.

La curva de CENTRO - SOBRE está muy por encima de todas las otras ubicaciones, indicando que hay un aumento importante en la temperatura en el centro del sistema, dada la transferencia de energía y calor de los otros paneles a su alrededor.

Las curvas de EXTREMO IZQ. - SOBRE y EXTREMO DER. - SOBRE son casi idénticas.

Los resultados de EXTREMO DER. - SOBRE y ZONA VERDE son casi las mismas, pero solo hay dos datos de comparación entre ellos, y si se

compara EXTREMO IZQ. con ZONA VERDE veo que la diferencia entre estos tres puntos no es superior a 2°C.

Bajo la sombra es definitivamente el menor valor, es decir la zona más fresca o de menor temperatura.

Para analizar si tener pocos paneles o muchos representa una diferencia significativa en los resultados ubicamos los termohigrómetros en el extremo izquierdo, centro y extremo derecho de una franja de pares de paneles que están más o menos en la mitad de todo el sistema.



Figura 19. Ubicación de termohigrómetros sobre los paneles

Se asume variación lineal en la temperatura dado que en la visita del 27 de septiembre de 2023 se ubicaron los termohigrómetros en medio de los lugares que se habían tomado en los primeros registros, es decir entre los extremo y el centro, en sentido longitudinal de los pares de paneles y al compararlo con la temperatura de la zona verde se encuentra que la diferencia entre estos es mayor que la diferencia entre las temperaturas de los extremos y la zona verde, pero menor que la diferencia de temperatura del centro del sistema con la zona verde.(Figura 25).

Tabla 6.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Promedio
27/09/2023	EXTREMO IZQ. - SOBRE	13:15	32,9°C	33,8°C
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:14	35,9°C	
27/09/2023	EXTREMO DER. - SOBRE	13:14	32,5°C	

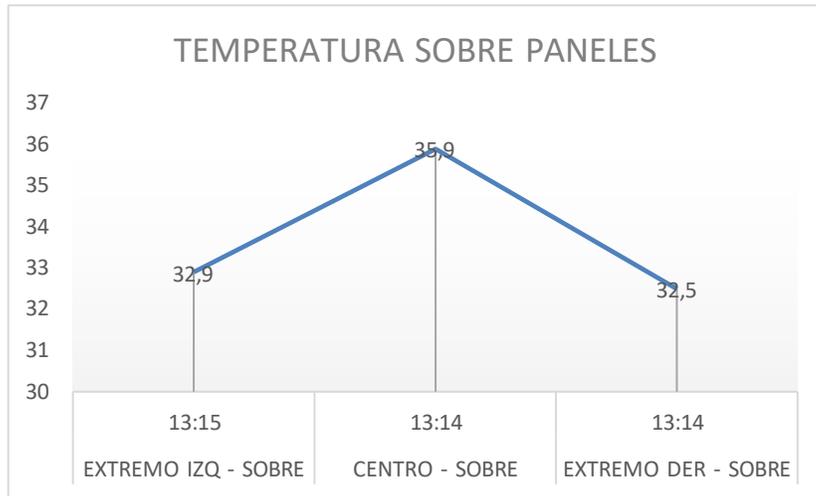


Figura 20. Temperatura sobre paneles

Tabla 7.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Promedio
27/09/2023	EXTREMO IZQ. - SOBRE	13:20	32,4°C	33,6°C
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:20	35,4°C	
27/09/2023	EXTREMO DER. - SOBRE	13:20	32,9°C	

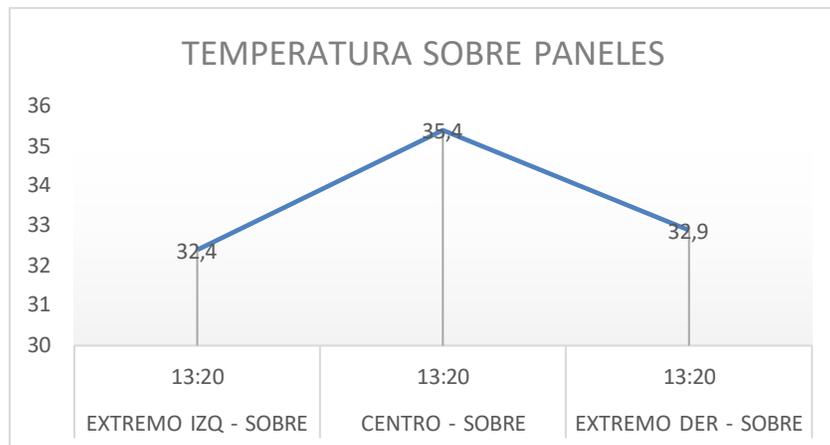


Figura 21. Temperatura sobre paneles

Tabla 8.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Promedio
27/09/2023	EXTREMO IZQ. - SOBRE	13:51	30,9°C	32,3°C
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	13:51	34,8°C	
27/09/2023	EXTREMO DER. - SOBRE	13:52	31,1°C	

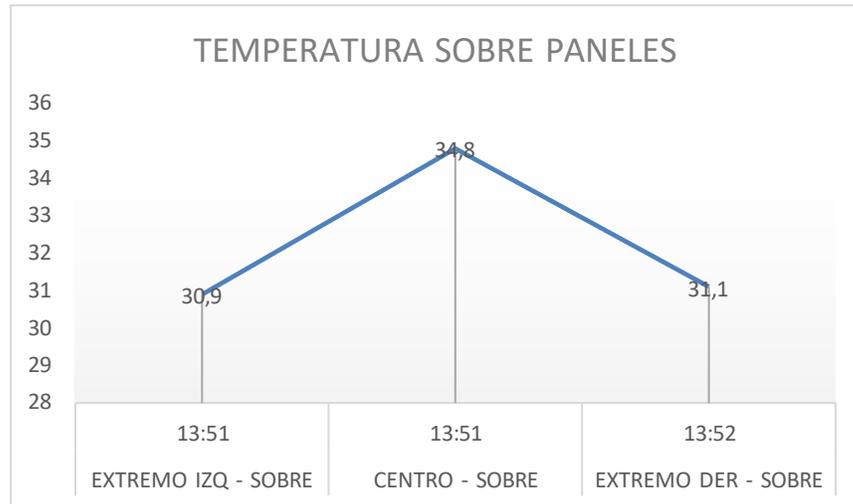


Figura 22. Temperatura sobre paneles

Tabla 9.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Promedio
27/09/2023	EXTREMO IZQ. - SOBRE	14:00	31,2°C	31,9°C
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	14:00	33,3°C	
27/09/2023	EXTREMO DER. - SOBRE	14:00	31,1°C	

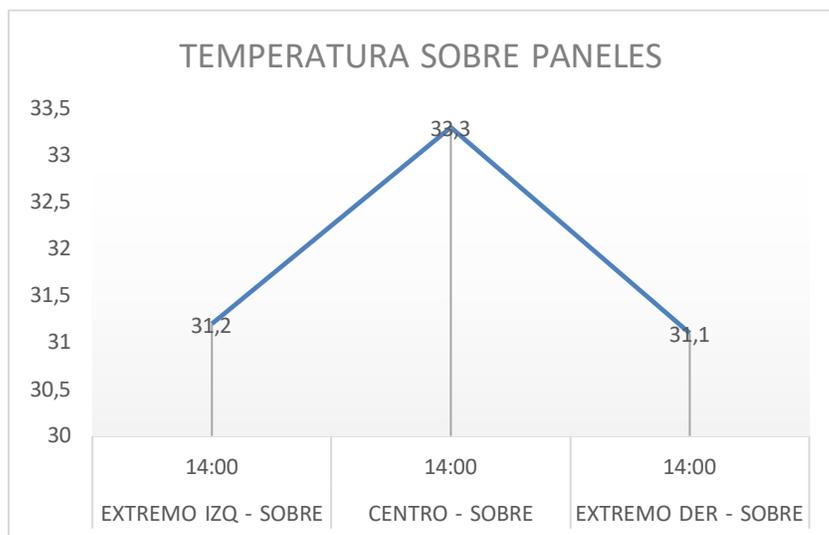


Figura 23. Temperatura sobre paneles

Tabla 10.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Promedio
27/09/2023	EXTREMO IZQ - SOBRE	14:20	30,3°C	31,6°C
27/09/2023	CENTRO - SOBRE	14:20	34,6°C	
27/09/2023	EXTREMO DER - SOBRE	14:20	30,0°C	

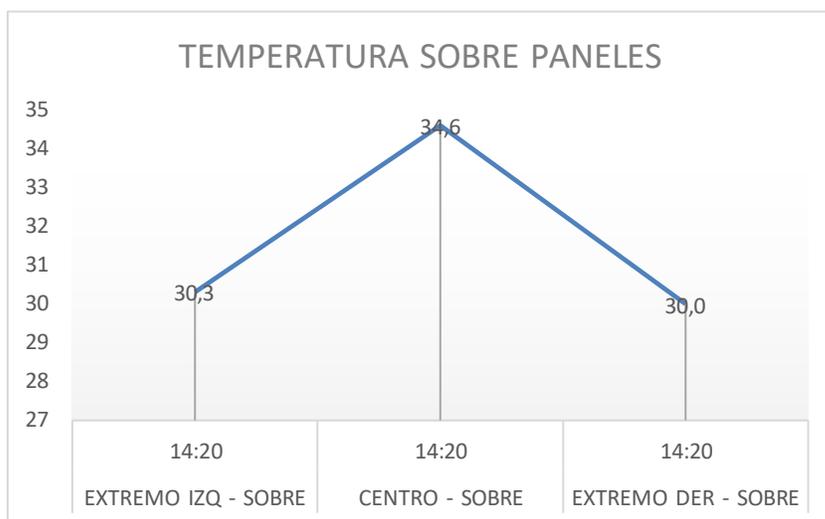


Figura 24. Temperatura sobre paneles

Se evidencia que hay un aumento significativo de la temperatura en la mitad de los paneles (Tabla 9 y 10 y Figuras 20, 21, 22 y 23).

Dados los anteriores resultados puede concluirse que no es confiable hacer pruebas en la Cantera Santa Rita con pocos paneles solares, es decir con un número inferior al 20% de los requeridos para su operación, pues los datos a los extremos de los paneles están más próximos a la temperatura de la zona verde que a la del centro del sistema.

Se planeó comprar 6 paneles para instalar en la Cantera Santa Rita para emular un sistema o granja solar como es llamada también, pero no obtendría datos confiables para la dimensión que tiene la Mina. Por lo cual se toman otro tipo de datos y se correlacionan con los que se pueden obtener en la Mina La Margarita.

Los anteriores datos (Tablas 7, 8, 9 y 10) y graficas nos indican que la temperatura sobre los paneles varía mucho de acuerdo con su ubicación en el sistema, entre más cerca se encuentre del centro mayor será la temperatura y entre más a los extremos se encuentre, menor será esta, lo cual sugiere que para comparar de manera adecuada la temperatura de los paneles con la de la zona verde o la zona de roca expuesta es necesario sacar el promedio entre los datos hallados sobre el sistema de paneles solares (Tabla 11).

Tabla 11. Temperatura

Fecha	Hora	TEMPERATURA			
		Centro - Sobre(°C)	Extremo Izq. - Sobre(°C)	Extremo Der. - Sobre(°C)	Promedio (°C)
27/09/2023	13:00	35,4°C	31,9°C		33,7°C
27/09/2023	13:14	35,9°C	32,9°C	32,5°C	33,8°C
27/09/2023	13:20	35,4°C	32,4°C	32,9°C	33,6°C
27/09/2023	13:51	34,8°C	30,9°C	31,1°C	32,3°C
27/09/2023	14:00	33,3°C	31,2°C	31,1°C	31,9°C
27/09/2023	14:20	34,6°C	30,3°C	30,0°C	31,6°C
27/09/2023	14:30	35,4°C	31,2°C		33,3°C
27/09/2023	15:00	37,2°C	31,7°C		34,5°C
27/09/2023	15:10	36,9°C		31,2°C	34,1°C
27/09/2023	15:30	32,5°C		29,8°C	31,2°C

8.2.3. Resultados toma de datos visita 3 Mina La Margarita, día nublado.

Para comparar mejor los datos obtenidos en la cantera Santa Rita con los de la Mina La Margarita es necesario tener escenarios similares. Hasta ahora todos los datos de la mina La Margarita corresponden a días muy soleados de altas temperaturas, pero es necesario tener también registros de días nublados que sean similares a las características de nubosidad de la cantera Santa Rita, por esto, se realizó la tercera visita, pero esta vez tomando datos solo sobre los paneles solares en medio de los lugares que había tomado en la visita anterior, es decir entre el extremo y el centro, en sentido longitudinal de los pares de paneles y en la zona verde (Figura 25).



Figura 25. Ubicación de termohigrómetros visita 3

Los datos hallados fueron los siguientes (Tabla 12):

Tabla 12.

Fecha	Ubicación	Hora	Temperatura(°C)	Humedad(%)
27/09/2023	ZONA VERDE	13:21	26,0°C	69%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	13:21	28,6°C	70%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	13:21	28,0°C	63%
27/09/2023	ZONA VERDE	13:30	25,4°C	62%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	13:30	29,4°C	59%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	13:30	28,4°C	69%
27/09/2023	ZONA VERDE	13:40	25,2°C	59%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	13:40	27,9°C	64%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	13:40	28,9°C	60%
27/09/2023	ZONA VERDE	13:50	24,9°C	59%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	13:50	26,5°C	65%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	13:50	28,9°C	61%
27/09/2023	ZONA VERDE	14:00	24,8°C	59%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	14:00	27,2°C	64%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	14:00	28,9°C	61%
27/09/2023	ZONA VERDE	14:10	25,8°C	63%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	14:10	27,2°C	65%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	14:10	29,5°C	61%
27/09/2023	ZONA VERDE	14:20	25,2°C	60%
27/09/2023	CENTRO - IZQUIERDA	14:20	26,8°C	66%
27/09/2023	CENTRO - DERECHA	14:20	26,1°C	62%

Cabe resaltar que la lluvia no permitió tomar más registros.

8.2.4. Análisis de resultados visita 3 Mina La Margarita, día nublado.

Al igual que con las demás visitas se analizan los datos para identificar los patrones de comportamiento

Tabla 13.

Temperatura				
Fecha	Hora	Zona Verde (°C)	Centro Izquierda (°C)	Centro Derecha (°C)
24/10/2023	13:21	26,0°C	28,6°C	28,0°C
24/10/2023	13:30	25,4°C	29,4°C	28,4°C
24/10/2023	13:40	25,2°C	27,9°C	28,9°C
24/10/2023	13:50	24,9°C	26,5°C	28,9°C
24/10/2023	14:00	24,8°C	27,2°C	28,9°C
24/10/2023	14:10	25,8°C	27,2°C	29,5°C
24/10/2023	14:20	25,2°C	26,8°C	29,1°C

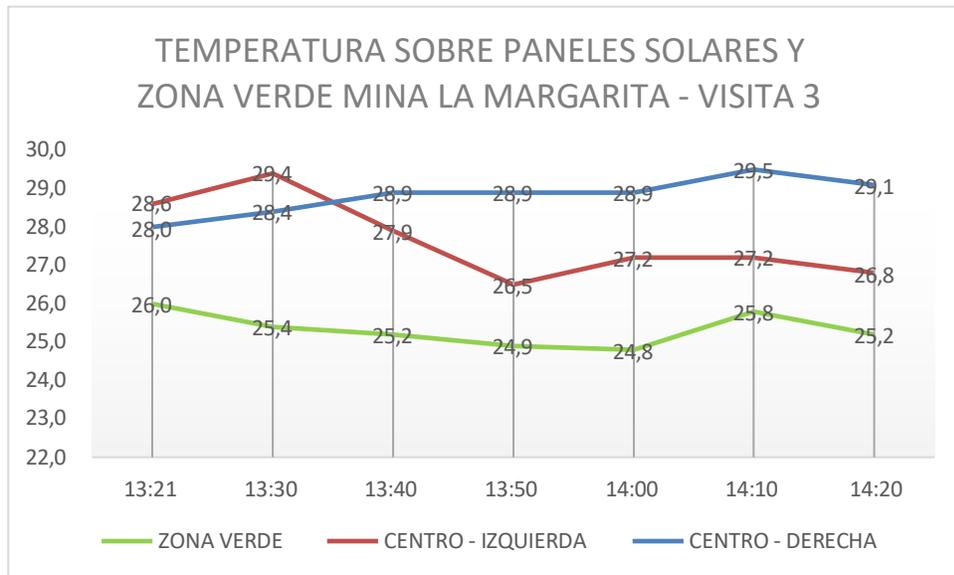


Figura 26. Temperatura sobre paneles solares y zona verde: Mina la Margarita - visita 3

En este nuevo escenario de temperaturas mucho más bajas se puede ver que la diferencia entre la zona verde y los paneles solares es menor que cuando se tienen altas temperaturas, lo cual reafirma lo hallado en visitas anteriores que, a menor temperatura, menor diferencial entre los puntos comparados.

También se ve que la temperatura sobre paneles solares, en ubicaciones diferentes, continúa siendo muy pareja pero no igual, lo cual indica que no se encuentra la misma temperatura sobre los paneles y que

se debe tomar un promedio entre los resultados para comparar con la zona verde.

En la parte izquierda de los paneles se encuentra un talud junto a una vía y en la parte derecha la topografía cae, esto pudo haber aportado para que se registre una diferencia entre los puntos intermedios de aproximadamente 2°C.

8.3. Comparación de datos Mina la Margarita y Cantera Santa Rita.

Al tener datos de la cantera Santa Rita, ubicada en la ciudad de Medellín y datos de la mina La Margarita, ubicada en Titiribí, se hace una correlación entre los resultados hallados, para identificar, si en caso hipotético, que en la cantera Santa Rita instalaran paneles solares en grandes áreas de roca expuesta donde se ha explotado el material pétreo, esto ayudaría a la disminución de la temperatura y si tiene otros aportes económicos que puedan justificar la inversión.

Debe resaltarse que la elevación con respecto al nivel del mar de las dos zonas de estudio es diferente (Tabla 14)

Tabla 14.

Ubicación	Elevación (Msnm)	Diferencia
CANTERA SANTA RITA	1639	448
MINA LA MARGARITA	1191	

Existe una diferencia de 448 msnm entre la elevación de las dos minas, esto se debe tener en cuenta porque es normal que las temperaturas en la zona más baja, en este caso en la mina La Margarita, sean mayores.

Es necesario comparar la diferencia de temperatura entre zona verde y la zona donde se encuentra la roca expuesta en la cantera Santa Rita con la diferencia de temperatura entre la zona verde y sobre los paneles solares de la Mina La Margarita

Tabla 15. Diferencia entre: sobre roca y zona verde Cantera Santa Rita

Diferencia Entre sobre roca y zona verde Cantera Santa Rita					
Fecha	Hora	Sobre Roca (°C)	Zona Verde (°C)	Diferencia (°C)	Aumento (%)
27/09/2023	12:20	33,1°C	28,8°C	4,3°C	15%
27/09/2023	12:30	35,2°C	29,6°C	5,6°C	19%
27/09/2023	12:40	31,0°C	28,2°C	2,8°C	10%
27/09/2023	13:00	32,0°C	28,4°C	3,6°C	13%
27/09/2023	13:10	34,4°C	29,2°C	5,2°C	18%
27/09/2023	13:30	32,2°C	28,2°C	4,0°C	14%
27/09/2023	13:40	32,2°C	28,8°C	3,4°C	12%
27/09/2023	14:00	31,1°C	28,1°C	3,0°C	11%
27/09/2023	14:20	28,1°C	25,8°C	2,3°C	9%

A continuación se presentan los resultados de la comparación en un día nublado que se asemeja mucho a las características de clima de los datos de la anterior tabla.

Tabla 16. Diferencia de temperatura: Mina La Margarita. Centro – izquierda vs. zona verde

Diferencia De Temperatura Mina La Margarita. Centro – Izquierda Vs Zona Verde					
Fecha	Hora	Zona Verde (°C)	Centro - Izquierda Paneles (°C)	Diferencia (°C)	Aumento (%)
24/10/2023	13:21	26,0°C	28,6°C	2,6°C	9%
24/10/2023	13:30	25,4°C	29,4°C	4,0°C	14%
24/10/2023	13:40	25,2°C	27,9°C	2,7°C	10%
24/10/2023	13:50	24,9°C	26,5°C	1,6°C	6%
24/10/2023	14:00	24,8°C	27,2°C	2,4°C	9%
24/10/2023	14:10	25,8°C	27,2°C	1,4°C	5%
24/10/2023	14:20	25,2°C	26,8°C	1,6°C	6%

La tabla 17 tiene como porcentaje máximo 14%, pero a diferencia del anterior, este se replica y está muy próximo a los demás datos como 13% y 11%.

Tabla 17. Diferencia de temperatura: Mina La Margarita. Centro – derecha vs. zona verde

Diferencia De Temperatura Mina La Margarita. Centro – Derecha Vs Zona Verde						
FECHA	Hora	Zona Verde (°C)	Centro Derecha (°C)	-	Diferencia (°C)	Aumento (%)
24/10/2023	13:21	26,0°C	28,0°C		2,0°C	7%
24/10/2023	13:30	25,4°C	28,4°C		3,0°C	11%
24/10/2023	13:40	25,2°C	28,9°C		3,7°C	13%
24/10/2023	13:50	24,9°C	28,9°C		4,0°C	14%
24/10/2023	14:00	24,8°C	28,9°C		4,1°C	14%
24/10/2023	14:10	25,8°C	29,5°C		3,7°C	13%
24/10/2023	14:20	25,2°C	29,1°C		3,9°C	13%

En esta primera comparación es evidente que el aumento de la temperatura entre los paneles y la zona verde de la mina La Margarita es mucho menor en comparación con la roca expuesta y la zona verde en la cantera Santa Rita con diferencia de 5% aproximadamente.

Se observan las diferencias entre la zona de mayor temperatura sobre los paneles solares y la zona verde, que sería el escenario más desfavorable en cuanto a aumento de temperatura sobre los paneles. (Tabla 18)

Tabla 18. Diferencia entre punto mayor de temperatura sobre los paneles y zona verde. Mina la Margarita

Diferencia Entre Punto De Mayor Temperatura Sobre Los Paneles Y Zona Verde. Mina La Margarita						
Fecha	Hora	Centro- (°C)	Sobre	Zona Verde (°C)	Diferencia (°C)	Aumento (%)
27/09/2023	12:21	36,1°C		31,7°C	4,4°C	14%
27/09/2023	12:41	35,4°C		32,7°C	2,7°C	8%
27/09/2023	13:00	35,4°C		31,7°C	3,7°C	12%
27/09/2023	14:30	35,4°C		32,1°C	3,3°C	10%
27/09/2023	15:00	37,2°C		33,7°C	3,5°C	10%
27/09/2023	15:10	36,9°C		31,0°C	5,9°C	19%
27/09/2023	15:30	32,5°C		29,8°C	2,7°C	9%

Se observa que el porcentaje máximo de aumento de temperatura es de 19%, igual que el de la cantera Santa Rita, pero con varias diferencias, ya que este porcentaje dista mucho de los demás resultados,

pues, el porcentaje que sigue es de 14% y después de 12%, con un mínimo de 9%. También, otra gran diferencia se puede ver porque la temperatura en esta última tabla es mucho más alta en comparación con la cantera Santa Rita, la zona verde tiene los datos más altos de temperatura y sabemos que a mayor temperatura, mayor es el aumento del diferencial de temperatura entre zona verde y paneles o roca expuesta, es decir que la zona verde aumenta más lento de temperatura con respecto a las dos otras superficies.

Se observa que, en el escenario más desfavorable para el aumento de la temperatura en los paneles, sigue siendo mucho menor a la temperatura de la roca expuesta.

Finalmente, se compara la temperatura promedio sobre los paneles (Tabla 19).

Tabla 19. Temperatura promedio sobre paneles. Alta temperatura

Temperatura Promedio Sobre Paneles. Alta Temperatura					
Fecha	Hora	Centro Sobre	- Extremo Izq. Sobre	Extremo Der. Sobre	Promedio
27/09/2023	13:00	35,4	31,9		33,7
27/09/2023	13:14	35,9	32,9	32,5	33,8
27/09/2023	13:20	35,4	32,4	32,9	33,6
27/09/2023	13:51	34,8	30,9	31,1	32,3
27/09/2023	14:00	33,3	31,2	31,1	31,9
27/09/2023	14:20	34,6	30,3	30,0	31,6
27/09/2023	14:30	35,4	31,2		33,3
27/09/2023	15:00	37,2	31,7		34,5
27/09/2023	15:10	36,9		31,2	34,1
27/09/2023	15:30	32,5		29,8	31,2

Ahora se compara la temperatura de la zona verde con la temperatura promedio del ambiente sobre los paneles en el día más caluroso (Tabla 20).

Tabla 20. Comparación zona verde con temperatura promedio paneles. Alta temperatura

Comparación Zona Verde Con Temperatura Promedio Paneles Alta Temperatura					
Fecha	Hora	Promedio Paneles	Zona Verde	Diferencia	% Aumento
27/09/2023	13:00	33,7	31,7	2,0	6%
27/09/2023	14:30	33,3	32,1	1,2	4%
27/09/2023	15:00	34,5	33,7	0,8	2%
27/09/2023	15:10	34,1	31,0	3,1	10%
27/09/2023	15:30	31,2	29,8	1,4	5%

Se observa que el aumento de la temperatura en esta comparación tiene un dato máximo de 10% y un mínimo de 2% lo que es significativamente menor comparado con los datos obtenidos en un día nublado en la cantera Santa Rita, comparando la temperatura de la zona verde con la de la roca expuesta.

8.4. Dimensionamiento para el requerimiento energético de la Mina Santa Rita.

Para el dimensionamiento del sistema se obtuvieron los requerimientos energéticos de la mina La Margarita mes a mes del año 2023.

Tabla 21. Requerimiento energético. Cantera Santa Rita

Requerimiento Energético Cantera Santa Rita	
Mes	Consumo energía activa (Kwh)
ene-23	131.258,61 Kwh
feb-23	111.723,27 Kwh
mar-23	128.796,71 Kwh
abr-23	122.628,07 Kwh
may-23	138.616,68 Kwh
jun-23	149.209,32 Kwh
jul-23	154.760,25 Kwh
ago-23	157.639,93 Kwh
sept-23	166.900,29 Kwh
PROMEDIO	140.170,35 Kwh

Para el cálculo de la infraestructura de paneles solares, se tomó el promedio del consumo registrado, con 140.170,35 KWh/mes.

$$\frac{140.170,35KWh}{mes} * 1.000 = \frac{140.170.350Wh}{mes}$$

$$\frac{140.170.350Wh}{30días} = \frac{4.672.345Wh}{día}$$

Teniendo en cuenta que en Medellín hay en promedio 5 horas pico de radiación (Figura 26), se obtiene el requerimiento por día.



Figura 27. Índice Ultravioleta en Medellín

Entonces,

$$\frac{4.672.345Wh}{5h} = 934.469WP = 934KWP$$

Cada panel tiene una potencia de 550W,

$$\frac{934.469WP}{550} = 1.699 \text{ paneles solares}$$

1.699 paneles solares representan una infraestructura muy grande para comenzar con una inversión y tiene algunos puntos en contra como por ejemplo que:

- La empresa proveedora de energía EPM compra la energía generada por el sistema fotovoltaico con un buen precio hasta una cantidad

donde se considera productor mayorista, entonces después de esto el precio baja y puede tener una afectación económica.

- Es una inversión inicial muy grande para hacer una prueba piloto.
- Los diseños de un sistema de generación de energía fotovoltaica se calculan con valores de eficiencia teóricos, por lo cual después de un tiempo de instalados los paneles se puede conocer su eficiencia real y según la experiencia, determinar cómo hacer más efectiva la instalación.
- Actualmente, se está trabajando en una transición energética en Colombia que puede generar beneficios para quienes generen energías renovables que pueden mejorar el esquema económico del proyecto. Es posible que más adelante se cuente con beneficios como la disminución de impuestos para la compra de elementos para el sistema, otros beneficios tributarios o mejores tarifas de compra.

Por lo anterior es mejor hacer un cálculo para el 20% del requerimiento energético de la Cantera Santa Rita, entonces:

$$\frac{934.469WP}{550} = 1.699 \text{ paneles solares} * 20\% = 339,8 \text{ paneles solares}$$

Se tiene en cuenta un 10% más de paneles para tener un rango de disminución de la eficiencia teórica de los paneles.

$$339,8 \text{ paneles solares} + (339,8)10\% = 373,78 \text{ paneles solares} \\ = \text{aprox } 375 \text{ paneles solares}$$

Cada panel solar marca RENESOLA 550W cuesta 700.000 por ser gran cantidad, lo que nos da un costo, solo de paneles de: \$262.500.000 (doscientos sesenta y dos millones quinientos mil pesos). Pero, para el montaje, se necesitan muchos más elementos como, inversor cableado, soportes, instalación, entre otros.

A continuación, se presenta el presupuesto requerido para la ejecución de un proyecto de 2.023 paneles solares (Tabla 22):

Tabla 22. Presupuesto Cantera Santa Rita

Presupuesto Cantera Santa Rita					
Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unit.	Valor Total
1.	PRELIMINARES				\$ 9.964.968
1.1	Localización	Gl	1	\$ 700.000	\$ 700.000
1.2	Campamento Provisional (Caseta En Superboard O Teleras De 40 M2)	M2	40	\$ 115.520	\$ 4.620.800
1.3	Red Eléctrica Y Acueducto Provisional	Gl	1	\$ 4.644.168	\$ 4.644.168
2.	MOVIMIENTOS DE TIERRA Y PIEDRAS				\$ 29.664.000
2.1	Movimiento De Piedras, Nivelación Y Limpieza Del Terreno	M2	1.000,0	\$ 18.000	\$ 18.000.000
2.2	Perforación Para Anclar Platinas De Soportes	Un	2.160,0	\$ 5.400	\$ 11.664.000
3.	ESTRUCTURA				\$ 71.320.250
3.1	Anclajes Epóxicos Para Soporte De Platinas	Un	2.160,0	\$ 12.000	\$ 25.920.000
3.2	Alurack Estructura Mrail 3.2m	Un	375	\$ 95.000	\$ 35.625.000
3.3	Alurack Estructura Unión Perfil De 20cm	Un	188	\$ 4.600	\$ 864.800
3.4	Alurack Estructura M8 X 25	Un	375,00	\$ 790	\$ 296.250
3.5	Alurack Estructura Mclamp 3,5cm	Un	938,00	\$ 4.800	\$ 4.502.400
3.6	Alurack Estructura Mclamp L	Un	563,00	\$ 5.400	\$ 3.040.200
3.7	Alurack Estructura Mclamp Group	Un	188,00	\$ 5.700	\$ 1.071.600
4.	PANELES SOLARES				\$ 262.500.000
4.1	Panel Solar RENESOLA 550W Monofásico	Un	375	\$ 700.000	\$ 262.500.000
5.	INVERSOR				\$ 80.685.456
5.1	Inversor INGETEAM 3 PLAY INGECON SUN 100TL Versión PRO 100kw Con Kid De Autoconsumo Y Transformadores	Un	1	\$80.685.456	\$ 80.685.456

Presupuesto Cantera Santa Rita						
Item	Descripción			Unidad	Cantidad	
6.	INSTALACIONES ELÉCTRICAS					\$ 23.137.800
6.1	Procable Ref 10 Negro C PV 6mm CU(Flex) XLPE SR 1800V 90°pvc	M	1.875	\$ 5.100	\$ 9.562.500	
6.2	Procable Ref 10 Rojo C PV 6mm CU(Flex) XLPE SR 1800V 90°pvc	M	1.875	\$ 5.100	\$ 9.562.500	
6.3	TE Connectivity Juego Conector MC4	Un	380	\$ 10.560	\$ 4.012.800	
6.4	Polo A Tierra (Incluye Barras)	Un	8	\$ 735.000	\$ 5.880.000	
6.5	Protecciones Para Fusibles	Un	380	\$ 13.500	\$ 5.130.000	
7	TRANSPORTE					\$ 9.600.000
7.1	Transporte De Estructura Y Paneles	Viaje	12	\$ 800.000	\$ 9.600.000	
8	INSTALACIÓN					\$ 24.375.000
8.1	Instalación Que Incluye Todas Las Herramientas Necesarias, Equipos, Mano De Obra Calificada Y Fungibles	Un	375	\$65.000	\$ 24.375.000	
9	IMPREVISTOS Y OTROS					
	COTIZACIÓN GLOBAL					\$ 35.787.323
9.1	Elementos Que Puedan Requerirse De Acuerdo A La Ubicación, Imprevistos Por Clima, Cambios Del Dólar O Euro, Entre Otros	Gl	1	\$35.787.323	\$ 35.787.323	
Sub-Total					\$ 547.034.797	
Iva 19%					\$ 103.936.611	
Total					\$ 650.971.408	

La inversión que debe hacer la cantera Santa Rita para la implementación del sistema de paneles solares que cubra el 20% de su requerimiento energético promedio mensual es de \$650.971.408.

Ahora se calcula el valor que la empresa de energía EPM cobra por los 28.034KWh que equivalen al 20% de consumo mensual promedio de la cantera (Figura 28).

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. informa:
Tarifas y Costo de Energía Eléctrica - Mercado Regulado - octubre de 2023

Información Monomía				
Activos B.T. / Conectados a nivel II		Propiedad EPM	Propiedad Compartida	Propiedad Cliente
Tarifa Residencial		Nivel I - \$/kWh		
Estrato 1.	Rango 0 - CS	337.12	323.08	309.05
	Rango > CS	842.79	807.71	772.62
Estrato 2.	Rango 0 - CS	421.40	403.86	386.31
	Rango > CS	842.79	807.71	772.62
Estrato 3.	Rango 0 - CS	716.37	686.56	656.73
	Rango > CS	842.79	807.71	772.62
Estrato 4.	Todo el consumo	842.79	807.71	772.62
Estrato 5 y 6.	Todo el consumo	1011.35	969.25	927.15
Tarifa No Residencial		Nivel I - \$/kWh		
Industrial y Comercial		1011.35	969.25	927.15
ESPD*		927.07	888.48	849.88
Oficial y Exentos de Contribución		842.79	807.71	772.62
Tarifa Areas Comunes		Nivel I - \$/kWh		
Con contribución		1011.35	969.25	927.15
Sin contribución		842.79	807.71	772.62

Figura 28. Tarifas y costo de energía eléctrica – Mercado regulado (Empresas Públicas de Medellín E.S.P., 2023)

$$28.034 * \$927,15 = \$25.991.788$$

Cada mes producirían 28.034kWh teóricos, que al costo del mes de octubre de 2023 equivale a \$25.991.788 pesos.

La operación de la cantera es de día y su requerimiento energético es muy grande, por lo cual este 20% generado con los paneles solares puede ser consumido completamente y no necesita ser vendido a la empresa de suministros de energía, pues de ser así, el valor que se recibe por cada kWh es menor, pero en esta cantidad puede ser consumido completamente por la operación diaria de la cantera, entonces, la inversión total de \$650.971.408 dividida en los \$25.991.788 se recuperaría en tan solo 25 meses, lo cual es bueno, pues después del mes 25, solo se tendrían gastos de mantenimiento y reparación, lo demás serán utilidades y la vida útil del sistema es de 20 a 25 años, es decir que se pueden ahorrar mucho dinero por 18 años o más.

$$\$25.991.788 * 18 \text{ años} * 12 \text{ meses /año} = \$5.614.226.208$$

Con el adecuado mantenimiento y teniendo en cuenta que el costo de la energía aumenta año por año en Colombia, la generación de este sistema en toda su vida útil sería superior a los cinco mil millones de pesos.

8. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES.

Esta investigación muestra que la explotación minera a cielo abierto en la ciudad de Medellín contribuye al aumento local de la temperatura al eliminar la capa vegetal y dejar la roca expuesta, este hecho fue constatado al comparar la temperatura sobre la zona verde o material vegetal con la tomada sobre la roca expuesta.

A partir de estos análisis se puede concluir que al instalar paneles solares, la temperatura sobre estos es menor que la que hay sobre la roca expuesta, entonces es posible mitigar un poco el impacto en el aumento de la temperatura al instalar el sistema fotovoltaico sobre las áreas que ya se han explotado, también, con la generación de energía por medio de sistemas fotovoltaicos se disminuye la huella de carbono al usar energías renovables para su operación, al mismo tiempo que se obtiene un gran beneficio económico por la energía que generan dichos paneles solares.

Al calcular el costo de la generación del 20% de la energía promedio requerida para la operación de la Cantera Santa Rita en Medellín y, al ser una operación tan grande, el sistema fotovoltaico libra su inversión en tan solo 25 meses, lo cual es óptimo, eficiente y rentable, haciendo que sea muy viable su implementación.

Ante una inversión tan rentable vale la pena estudiar los costos adicionales si muchos más elementos de la cantera trabajaran con energía eléctrica fotovoltaica, por ejemplo, si la maquinaria amarilla como retro excavadoras, dumpers, entre otras, fuesen eléctricas y trabajaran con la energía generada. Ahorrarían mucho dinero en combustibles fósiles que mes a mes aumentan de precio, disminuirían el consumo de gases de efecto invernadero, el aumento de la temperatura como lo muestra esta investigación y por supuesto ahorrarían mucho dinero.

Bibliografía

- AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA. (2021). *AGENCIA NACIONAL DE MINERÍA*.
Obtenido de <https://mineriaencolombia.anm.gov.co/sites/default/files/2022-02/Ficha%20Colombia%2001%202022.pdf>
- Universidad Nacional de Colombia. (2 de Julio de 2015). <http://minas.medellin.unal.edu.co/>.
Recuperado el 16 de Marzo de 2016, de Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín-Fcultad de Minas: <http://minas.medellin.unal.edu.co/noticias/facultad/298-la-urbanizacion-y-los-vehiculos-motorizados-aumentan-las-temperaturas-en-medellin>
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (9 de Junio de 2015).
www.secretariasenado.gov.co. Recuperado el 12 de mayo de 2016, de secretaria senado: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1753_2015.html
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Republica de Colombia. (2015). *Glosario técnico minero*. Bogotá.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. (2009). *Guía para la explotación, mitigación y recuperación de canteras. Un compromiso con la comunidad y el medio ambiente*. Bogotá.
- Romero, A. A. (2010). *Contaminación ambiental y calentamiento global*. Mexico D. F.: Editorial Trilla S.A. de C.V.
- Alley, R. B. (2007). *El cambio climático. Pasado y futuro*. Madrid: SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES S.A.
- Hernandez Peña, Y. T., & Forero Castaño, E. L. (2015). *Respuestas locales al cambio del clima*. Bogotá: Editorial UD.
- Rodríguez Erazo, N., Pabón Caicedo, J. D., Bernal Suearez, N. R., & Martinez Collantes, J. (2010). *Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes Colombianos*. Bogotá: Alianza Ediprint Ltda- Guerra Editores.
- Curitiba-Paraná. (s.f.). www.curitiba-parana.net. Recuperado el 16 de Abril de 2016, de <http://www.curitiba-parana.net/parques/tangua.htm>
- Portal da Prefeitura de Curitiba. (MAYO de 2014). *Portal da Prefeitura de Curitiba*.
Recuperado el 16 de Abril de 2016, de <http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/parques-e-bosques-parque-tingui/321>
- MINEROS S.A. (2014). *Memorias de sostenibilidad 2014*. Medellín: MINEROS S.A.
- Saavedra, F. (08 de 11 de 2023). *Infobae*. Obtenido de Infobae:
<https://www.infobae.com/colombia/2023/11/08/la-directora-de-isagen-indico-que-están-preparados-ante-la-declaratoria-del-fenomeno-de-el-nino-y-la-possible-crisis-energetica/>
- Mina La Margarita. (s.f.). *Mina La Margarita*. Obtenido de Mina la Margarita S.A.S.:
<https://www.minalamargarita.com/articulos/generacion-de-energia-solar>
- Prefeitura Municipal de Curitiba. (01 de 07 de 2021). *Curitiba*. Obtenido de <https://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/parque-jaime-lerner-vai-integrar-pedreira-opera-de-aramé-e-farol-das-cidades/59584>
- Universidad Tecnológica Centroamericana. (2010). *studocu*. Obtenido de studocu:
<https://www.studocu.com/latam/document/universidad-tecnologica-centroamericana/ecologia/mineria-a-cielo-abierto/5593037>

- Cantera Santa Rita. (s.f.). *Cantera Santa Rita*. Obtenido de <https://canterasantarita.com/empresa/>
- BBC News Mundo. (3 de 12 de 2018). *BBC*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46421432#:~:text=¿Cuál%20es%20la%20evidencia%20del,en%20las%20últimas%20Otres%20décadas.>
- Betancur, L. F., Serna, C. P., & González, M. F. (2019). Cambio climático en la ciudad de Medellín - Colombia, en un periodo de 50 años (1960-2010). *DYNA*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532019000200312#B23
- NASA. (2023). *Ciencia NASA*. Obtenido de [ciencia.nasa.gov: https://climate.nasa.gov/faq/70/que-es-el-efecto-invernadero/](https://climate.nasa.gov/faq/70/que-es-el-efecto-invernadero/)
- Área Metropolitana Valle de Aburrá. (2021). *Área Metropolitana Valle de Aburrá*. Obtenido de [metropol.gov.co: https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/islas-de-calor-cuando-las-ciudades-se-calientan.aspx](https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/islas-de-calor-cuando-las-ciudades-se-calientan.aspx)
- Jutglar, L. (2004). *ENERGÍA SOLAR*. Barcelona: Ediciones Ceac.
- Vilaseca, M. C., & Barrio, M. (2017). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. ALFAOMEGA.
- Celsia. (05 de 05 de 2018). *Celsia*. Obtenido de [CELSIA.COM: https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/](https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/)
- Vicente, A. M. (2009). *Curso de Energía Solar*. Madrid: Mundi prensa.
- Bedoya, C. M. (2007). *CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE, Para volver al camino*. Medellín: Biblioteca jurídica DIKÉ.
- Equipos y Laboratorio de Colombia. (s.f.). *Equipos y Laboratorio de Colombia*. Obtenido de [equiposylaboratorio.com: https://www.equiposylaboratorio.com/portal/productos/categoria-6/termohigrometros](https://www.equiposylaboratorio.com/portal/productos/categoria-6/termohigrometros)
- Tut tiempo.net. (16 de 05 de 2024). *Tut tiempo.net*. Obtenido de [tut tiempo.net: https://www.tut tiempo.net/indice-ultravioleta/colombia/medellin.html](https://www.tut tiempo.net/indice-ultravioleta/colombia/medellin.html)
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (10 de 2023). Obtenido de [cu.epm.com.co: https://cu.epm.com.co/Portals/clientes_y_usuarios/clientes-y-usuarios/energia/documentos/Energ%C3%ADa%202023/PublicacionTarifasOctubre182023_ANT_OM.pdf?ver=k_FOhXDG1c4fQRZDnQJsqw%3d%3d](https://cu.epm.com.co/Portals/clientes_y_usuarios/clientes-y-usuarios/energia/documentos/Energ%C3%ADa%202023/PublicacionTarifasOctubre182023_ANT_OM.pdf?ver=k_FOhXDG1c4fQRZDnQJsqw%3d%3d)