

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Instalaciones eléctricas domiciliarias trifásicas con energía
fotovoltaica**

Robinson Steve Mogollón Timbiano

Ingeniería Electrónica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Electrónico

Quito, 22 de 12 de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Instalaciones eléctricas domiciliarias trifásicas con energía
fotovoltaica**

Robinson Steve Mogollón Timbiano

Calificación

Nombre del profesor, Título académico

Alberto Sánchez, PhD

Firma del profesor

Quito, 22 de 22 de 2020

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos:	Robinson Steve Mogollon Timbiano
Código:	109791
Cédula de identidad:	1714040084
Lugar y fecha:	Quito, diciembre de 2020

Firma del estudiante

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento se dirige a quienes han forjado mi camino y con toda la sabiduría de sus experiencias me han ayudado a ser mejor cada día. Agradezco a mis padres que son lo más importante en mi vida y sin ellos no hubiera podido lograrlo, a Dios, que siempre está conmigo y no me abandona. Un agradecimiento a mis amigos del colegio “Zariguellos” que hasta el día de hoy me ayudan en mi crecimiento personal, y para terminar quiero agradecer a la familia Loarte por que todos tienen un corazón gigante y me pudieron apoyar en los peores momentos.

RESUMEN

En este proyecto de culminación de carrera de Ingeniería Electrónica, se realiza un diseño eléctrico para una residencia con energía fotovoltaica localizada en el sector del Valle de Los Chillos del Ecuador. Para el desarrollo de este proyecto, se identifican las principales cargas según la demanda eléctrica obtenida en la residencia. Se dan los cálculos correspondientes para la instalación trifásica de todo el sistema eléctrico. También se compone de materiales y estructuras completas de acometidas desde el medidor eléctrico. Finalmente, se adjunta los planos de diseño eléctrico y energía fotovoltaica a baja tensión con obras civiles necesarias.

Palabras clave: Diseño eléctrico, baja tensión, protecciones, acometidas, demanda eléctrica, planos eléctricos, fotovoltaica, cargas.

ABSTRACT

In the present Project of culmination of Electronic Engineering Bachelor, an electrical design is made for a residence with photovoltaic energy and it is located in the sector of Valle de Los Chillos in Ecuador. For the development of this project, the main loads are identified according electrical demand obtained in the residence. For the triphasic installation in all electric system, there will be sustainable calculus data. This project considers material and complete structures and connections from the electric feeder. Last, the electric design layout will be included and photovoltaic energy a low voltage with necessary civil work.

Keywords: Electrical design, low voltage, protections, connections, electrical demand, electrical plans, photovoltaics, loads.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	11
Bases y Criterios de Diseño.....	12
Memoria de Cálculo del Diseño para la Red Eléctrica.....	23
Memoria de Cálculo para el Suministro Fotovoltaico	44
Referencias	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma de revisiones.....	13
Tabla 2: Abreviaturas.....	15
Tabla 3: Estándares y Normativas.....	16
Tabla 4: Unidades de medición.....	17
Tabla 5: Cronograma de revisiones.....	24
Tabla 6: Normativas utilizadas.....	26
Tabla 7: Cargas de alumbrado general por tipo de ocupación	29
Tabla 8: Demanda de potencia de iluminación y tomacorrientes	30
Tabla 9: Factores de demanda para alimentadores de cargas y iluminación	31
Tabla 10: Factores de demanda para secadoras domesticas electricas de ropa	32
Tabla 11: Factores de demanda para electrodomesticos	32
Tabla 12: Demanda de cargas especiales.....	33
Tabla 13: Demanda de potencia final con factor de demanda	34
Tabla 14: Cálculos de los Circuito	36
Tabla 15: Balance de cargas.....	38
Tabla 16: Tamaños de calibres de acometidas	42
Tabla 17: Cronograma de revisiones.....	45
Tabla 18: Normativa Utilizada.....	47
Tabla 19: Demanda de Potencia.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del domicilio.....	19
Figura 2: Ubicación geográfica satelital representado en rojo	19
Figura 3: Ubicación solar de la residencia	20
Figura 4: Valores estimados de la producción eléctrica solar	21
Figura 5: Producción eléctrica solar mensual.....	21
Figura 6: Valores mensuales de energía solar	22
Figura 7: Planos arquitectónicos	27
Figura 8: Diseño de iluminación	27
Figura 9: Diseño de toma corrientes	28
Figura 10: Leyenda de simbología de diseño.....	28
Figura 11: Diseño de acometida subterránea medidor-vivienda	39
Figura 12: Instalación de tubo galvanizado.....	40
Figura 13: Esquema de acometida medidor-pozo de revisión.....	41
Figura 14: Diseño de pozos de revisión	41
Figura 15: Esquema de ductos	42
Figura 16: Esquema de puesta a tierra	43
Figura 17: Diagrama unifilar fotovoltaica.....	47
Figura 18: Esquema de balance neto.....	48
Figura 19: Valores mensuales de producción solar.....	50
Figura 20: Características del inversor. [6]	51

1. INTRODUCCIÓN


La energía solar fotovoltaica es una nueva tecnología que se encarga de generar corriente continua (*medida en vatios o kilovatios*) por medio de semiconductores que son iluminados por un haz de fotones. La energía solar fotovoltaica presenta algunas ventajas y desventajas en comparación a la energía convencional de recursos limitados. [1]

El principal componente es un módulo fotovoltaico (*panel solar*), los demás componentes son seleccionados según la aplicación que este destinado a realizarse, estos se pueden clasificar en 3 grupos: i) Conectados a la red eléctrica, ii) Autónomos y iii) Bombeo. [2]

Para el presente proyecto de culminación de carrera de Ingeniería electrónica, se realizará la conexión de la red eléctrica compartida con energía fotovoltaica, para el cumplimiento del acoplamiento con la red eléctrica, se incorpora un equipo inversor que adecúa la potencia producida por el modulo fotovoltaico a las condiciones de la red convencional de baja tensión.

El diseño eléctrico se basa según las normativas del NEC2017(*National Electrical Code*), donde se implementan los circuitos de iluminación y tomacorrientes según la necesidad de la vivienda, la memoria de cálculo se basa en la demanda y balance de cargas para cada circuito utilizado en la vivienda con sus respectivas protecciones y canalización.

2. BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO

	ANÁLISIS, DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE UNA RESIDENCIA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
Departamento	Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Documento	BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO
Código del Documento	USFQ-00109791-BCD-0

Cronograma de revisiones

TABLA 1:CRONOGRAMA DE REVISIONES

Revisión	Fecha	Próxima revisión	Revisado por	Aprobado por
A	5/10/2020	B	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
B	7/11/2020	C	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
C	15/12/2020	D	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
D	13/12/2020			

INDICE

2.1 Objetivo.....	15
2.2 Alcance	15
2.3 Abreviaturas	15
2.4 Estándares y normativas	16
2.5 Unidades de medición	17
2.6 Definiciones	18
2.7 Ubicación geográfica y disposición física del proyecto	19
2.8 Rendimiento solar de la ubicación geográfica	20

2.1 OBJETIVO

El objetivo de este documento es presentar el diseño de un sistema eléctrico mediante energía fotovoltaica.

2.2 ALCANCE

El alcance de este proyecto completa los siguientes resultados. En primer lugar, se realizará el diseño del sistema eléctrico de una residencia de acuerdo con la normativa NEC2017. Se expondrán las bases y criterios para el diseño eléctrico con su respectivo dimensionamiento.

Para el cumplimiento del proyecto se diseñará la acometida eléctrica desde el medidor trifásico de baja tensión. Los respectivos análisis están dados para las cargas de toda la residencia con su respectiva demanda. Así también, se calcularán las protecciones requeridas para el correcto funcionamiento de la red eléctrica. Se presentará los planos eléctricos por separado de la parte eléctrica y energía fotovoltaica según el NEC2017 y ARCONEL. Finalmente se incluirá los materiales y estructuras civiles para cada sistema realizado según la normativa de la Empresa Eléctrica Quito y las necesidades del usuario.

2.3 ABREVIATURAS

A continuación, se presentan las respectivas abreviaturas con sus significados que serán usados en todo el documento.

TABLA 2: ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
NEC	National Electrical Code
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
AWG	American Wire Gauge
ARCONEL	La Agencia de Regulación y Control de Electricidad

2.4 ESTANDARES Y NORMATIVAS

A continuación, se muestran las normas utilizadas en el proyecto.

TABLA 3: ESTÁNDARES Y NORMATIVAS

Normativas	Capitulo	Tema
National Electrical Code NEC 2017	2	Wiring and Protection
	3	Wiring Methods and Materials
	4	Equipment for General Use
	5	Residential Electrical installations
ARCONEL	Regulación 003/18	El directorio de la agencia de regulación y control de electricidad

2.5 UNIDADES DE MEDICIÓN

En la siguiente tabla se muestra las unidades de medición y los símbolos utilizados en el proyecto.

TABLA 4: UNIDADES DE MEDICIÓN

Símbolo	Unidad	Variable
A	Amperio	Corriente
mA	miliamperio	
°C	Grados Celsius	Temperatura
Hz	Hercio	Frecuencia
K	Kilo	Magnitud
m	Metro	Distancia
m ²	Metro Cuadro	Área
m ³	Metro Cubico	Volumen
V	Voltio	Voltio
KV	Kilovoltio	
VA	Voltamperio	Potencia
Kva	Kilo voltamperio	
W	vatio	
KW	Kilovatio	
%	Por ciento	Porcentaje

2.6 DEFINICIONES

- **Acometida:** Derivación de la red local que llega hasta el registro de corte del inmueble, permite que el usuario tenga el servicio público. [3]
- **Alimentador Eléctrico:** Son todos los conductores del circuito entre el equipo de servicio, la fuente de alimentación y el dispositivo de sobre corriente del circuito derivado final. [4]
- **Amperio:** Unidad de medida de la intensidad de corriente eléctrica, su simbología es [A]. [3]
- **Cable:** Conductor formado por un conjunto de hilos entrelazados. [5]
- **Canalización:** Accesorios diseñados para contener y proteger a los alambres, cables conductores. [5]
- **Carga:** Cantidad de potencia que se entrega en un punto del sistema eléctrico. [5]
- **Corriente:** Es el movimiento de la electricidad por un conductor, el flujo de electrones a través de un conductor. [5]
- **Circuito:** Trayecto o ruta de una corriente eléctrica, formado por conductores que transporta energía. [5]
- **Demanda Eléctrica:** Requerimiento instantáneo a un sistema eléctrico de potencia. [5]
- **Energía Solar o Fotovoltaica :** Energía producida por el efecto del calor o radiación solar, se utiliza para excitar celdas fotovoltaicas para la producción de electricidad. [5]
- **Energizado:** Los equipos adquieren potencial eléctrico. [5]
- **Factor de Demanda:** Es la relación entre la demanda máxima y la carga total que está conectada al sistema eléctrico. [5]
- **Inversor:** Es un circuito que transforma corriente continua en corriente alterna. [3]
- **Panel solar:** Es un módulo que aprovecha la energía solar para transformar a energía eléctrica. [3]

2.7 UBICACIÓN GEOGRAFICA Y DISPOSICIÓN FÍSICA DEL PROYECTO

La residencia está ubicada en el sector del valle de Los Chillos en Quito. La residencia es de 600 m². La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se**

encuentra el origen de la referencia. muestran un mapa con la ubicación de la propiedad tomada con Google Maps.

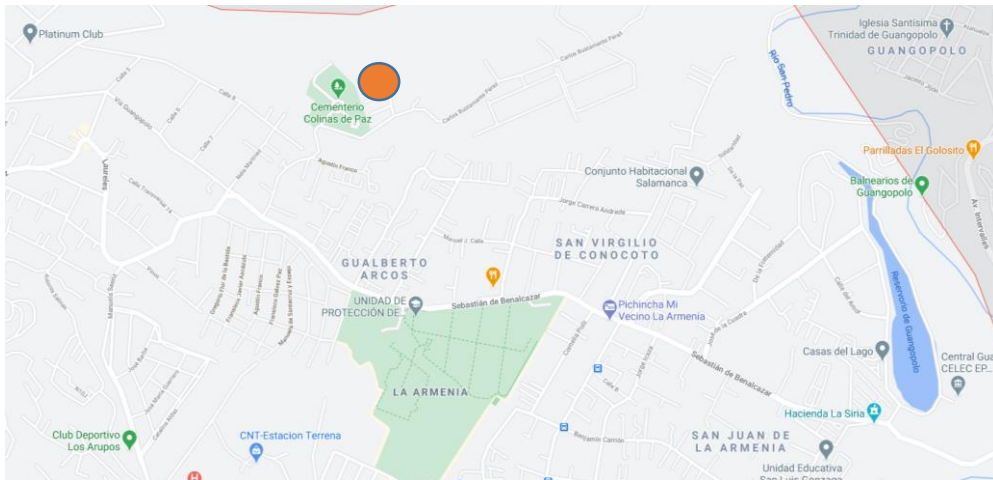


FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL DOMICILIO



FIGURA 2: UBICACIÓN GEOGRÁFICA SATELITAL REPRESENTADO EN ROJO

2.8 RENDIMIENTO SOLAR DE LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La ubicación y rendimiento de energía fotovoltaica se presenta en la Figura2, Figura3, Figura4, Figura5 Y Figura6.

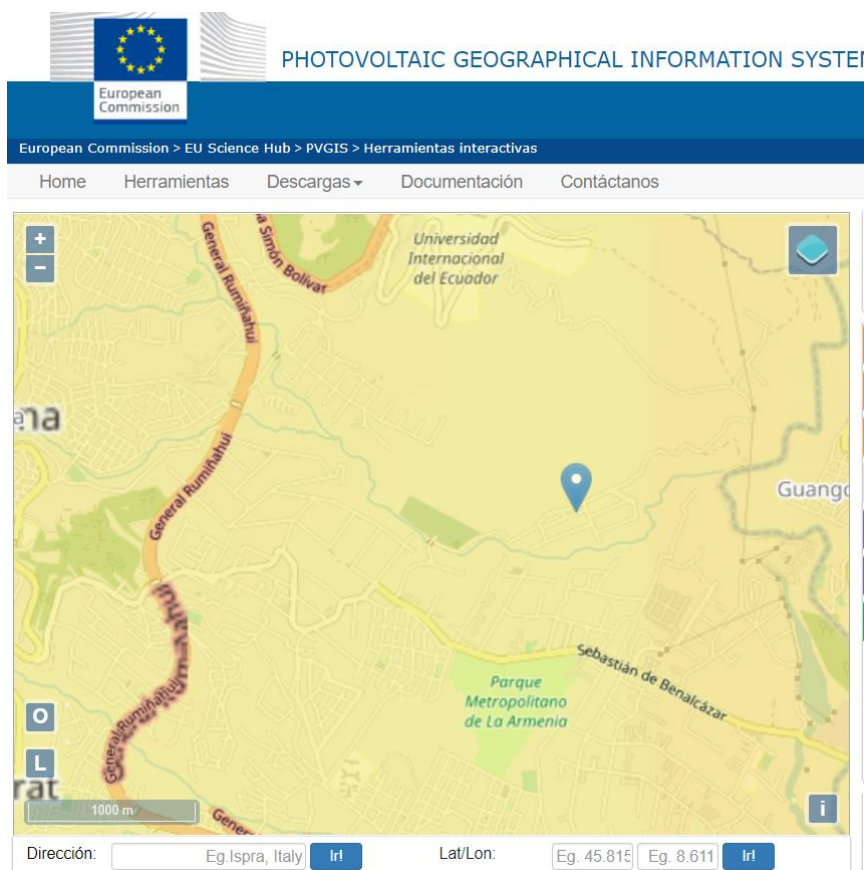


FIGURA 3: UBICACIÓN SOLAR DE LA RESIDENCIA

FUENTE: PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

Rendimiento de un sistema FV con seguimiento solar

PVGIS-5 valores estimados de la producción eléctrica solar

Datos proporcionados:		Resultados de la simulación	
Latitud/Longitud:	-0.261, -78.467	Ángulo de inclinación [°]:	VA*
Horizonte:	Calculado	Producción anual FV [kWh]:	1521
Base de datos:	PVGIS-NSRDB	Irradiación anual [kWh/m ²]:	1958.63
Tecnología FV:	Silicio cristalino	Variación interanual [kWh]:	57.0
FV instalado:	1 kWp	Cambios en la producción debido a:	
Pérdidas sistema:	14 %	Ángulo de incidencia [%]:	-3.04
		Efectos espectrales [%]:	NaN
		Temp. y baja irradiancia [%]:	-6.87
		Pérdidas totales [%]:	-22.34

* VA: Eje vertical

Perfil del horizonte:

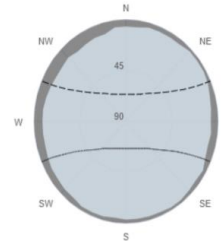


FIGURA 4: VALORES ESTIMADOS DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA SOLAR

Producción eléctrica mensual de un sistema FV con seguimiento solar:

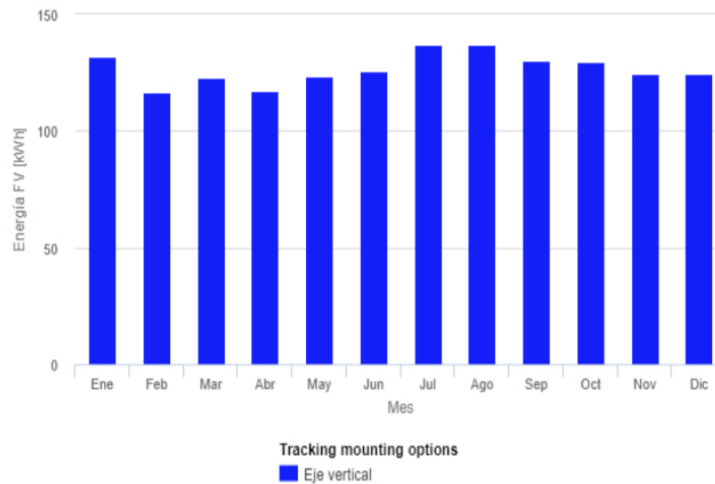


FIGURA 5: PRODUCCIÓN ELÉCTRICA SOLAR MENSUAL

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m
Enero	131.7	169.6	11.4
Febrero	116.8	150.7	11.7
Marzo	122.8	158.4	5.6
Abril	117.3	151.3	9.1
Mayo	123.3	158.6	7.1
Junio	125.8	161.2	8.5
Julio	137.1	175.5	8.0
Agosto	137.3	176.2	8.3
Septiembre	130.4	168.1	15.1
Octubre	129.4	167.4	7.1
Noviembre	124.6	160.9	8.4
Diciembre	124.7	160.7	12.3

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].

H_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²].

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

FIGURA 6: VALORES MENSUALES DE ENERGÍA SOLAR

3.MEMORIA DE CÁLCULO DEL DISEÑO DE LA RED ELÉCTRICA

	ANÁLISIS, DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE UNA RESIDENCIA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
Departamento	Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Documento	BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO
Código del Documento	USFQ-00109791-MCE-0

TABLA 5: CRONOGRAMA DE REVISIONES

Revisión	Fecha	Próxima revisión	Revisado por	Aprobado por
A	5/10/2020	B	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
B	7/11/2020	C	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
C	15/12/2020	D	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
D	13/12/2020			

INDICE

3.1 Objetivo.....	26
3.2 Alcance	26
3.3 Estándares y normativas para el diseño.....	26
3.4 Planificación de la instalación eléctrica y de iluminación	27
3.5 Cálculo de la demanda	29
3.6 Balance de cargas.....	37
3.7 Acometida para la red eléctrica.....	39
3.8 Puesta a tierra.....	42

3.1 OBJETIVO

El objetivo de este documento presentar el diseño de la red eléctrica de baja tensión y suministrar energía en un domicilio de acuerdo a las bases y criterios de diseño presentados en el documento BCD-0

3.2 ALCANCE

El alcance del proyecto es presentar el diseño eléctrico del domicilio incluyendo la planificación, tendido eléctrico y selección de conductores.

3.3 ESTANDARES Y NORMATIVAS PARA EL DISEÑO

A continuación, se presentan las normativas utilizadas para el diseño eléctrico del domicilio.

TABLA 6: NORMATIVAS UTILIZADAS

Normativas	Capitulo	Tema
National Electrical Code NEC 2017	2	Wiring and Protection
	3	Wiring Methods and Materials
	4	Equipment for General Use
	5	Residential Electrical installations
Empresa Eléctrica Quito	13	Seccionamiento y protecciones

3.4 PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y DE ILUMINACIÓN

En la siguiente sección se expone los diseños de las instalaciones eléctricas.

El plano arquitectónico con la demostración de todas sus áreas se presenta en la Figura 7.

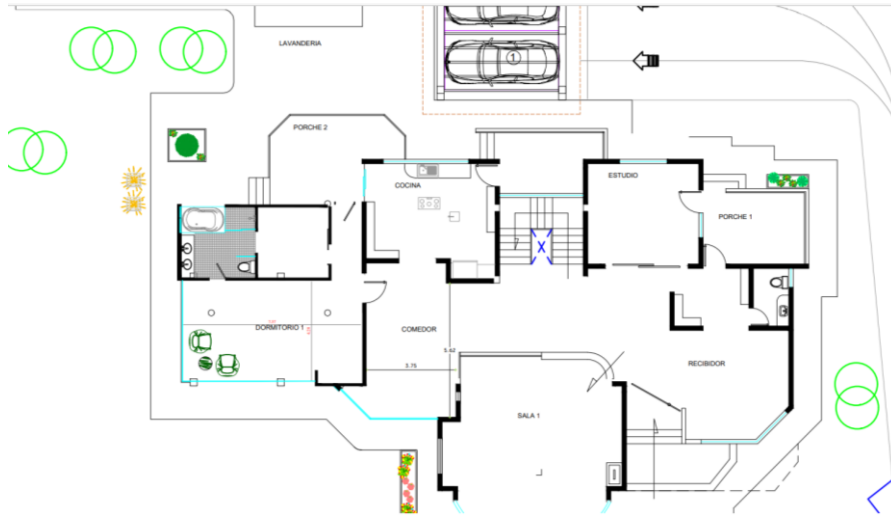


FIGURA 7: PLANOS ARQUITECTÓNICOS

A continuación, se expone el diseño de iluminación en la Figura 8.

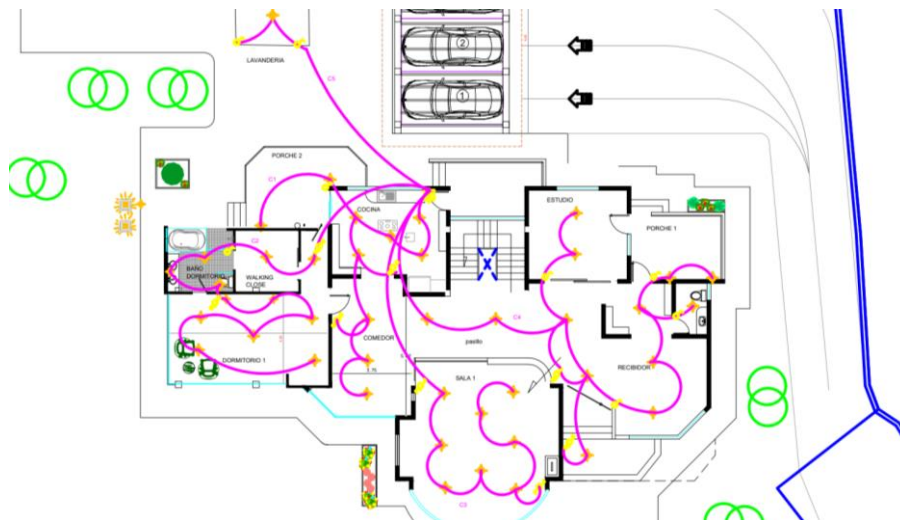


FIGURA 8: DISEÑO DE ILUMINACIÓN

A continuación, se expone el diseño de toma corrientes en la Figura9.

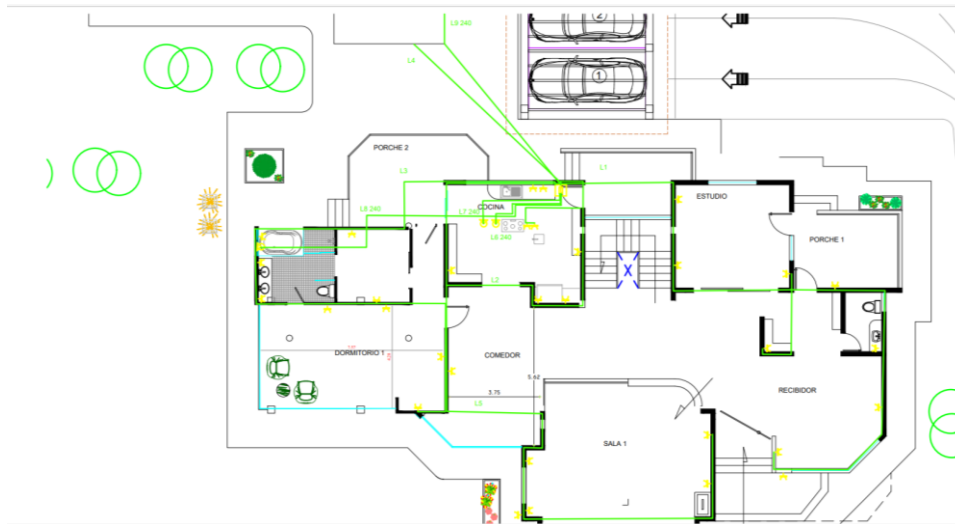


FIGURA 9: DISEÑO DE TOMA CORRIENTES

Para el entendimiento de algunas partes de los diseños de iluminación y tomacorrientes se indica los significados de los símbolos utilizados en la figura 10.

LEYENDA		
E1		Caja general de protección
E2		Cuadro general de distribución
E5		Caja de derivación
E6		Pulsador
E7		Conmutador doble
E8		Base de enchufe de 10-16 amperios
E9		Base de enchufe de 25 amperios
E10		Interruptor
E11		Conmutador simple
E12		Interruptor bipolar
E13		Punto de luz incandescente
E14		Acometida por techo
E23		Acometida por pared
E25		Línea principal de tierra en conducto de fábrica
E26		Línea principal de tierra bajo tubo
E27		Interruptor de control de potencia

FIGURA 10: LEYENDA DE SIMBOLOGÍA DE DISEÑO

3.5 CALCULO DE LA DEMANDA

Primero se hizo el cálculo para la parte de iluminación la cual como se muestra en la siguiente tabla se usa el valor de carga unitaria de 32 VA/m² ya que es una unidad de vivienda, por otro lado, se debe mencionar que este valor también se usa para las cargas pequeñas ya que esta sección lo permite. Con este valor y el valor de área de 378.44 m² de la vivienda se obtiene que entre tomas generales e iluminación se impone una demanda mínima de 12110.08 VA como lo indica la fórmula que se muestra a continuación:

TABLA 7: CARGAS DE ALUMBRADO GENERAL POR TIPO DE OCUPACIÓN

Tipo de ocupación	Carga unitaria (VA/m ²)
Cuarteles y Auditorios	10
Bancos	38**
Barberías y salones de belleza	32
Iglesias	10
Clubes	22
Juzgados	22
Unidades de vivienda*	32
Garajes públicos (Propiamente dichos)	5
Hospitales	22
Hoteles y moteles, incluidos bloques de apartamentos sin cocina*	22
Edificios industriales y comerciales	22
Casa de huéspedes	16
Edificios de oficinas	38*
Restaurantes	22
Colegios	32
Tiendas	2,5
Depósitos	
En cualquiera de los lugares anteriores excepto en viviendas unifamiliares y unidades individuales de vivienda bifamiliares y multifamiliares:	
- Lugares de reunión y auditorios	10
- Recibidores, pasillos, armarios, escaleras	5
- Lugares de almacenaje	2,5

$$S = \text{Area} * \text{Carga unitaria}$$

$$S = 378.44 \text{ m}^2 * 32 \frac{\text{VA}}{\text{m}^2}$$

$$S = 12110.08 \text{ VA}$$

El CPE-19 especifica que se puede usar por cada punto de iluminación una carga de 180 VA. Sin embargo, actualmente se usan focos LED que bajan significativamente la carga es por esto que se usó un valor de 20 VA por punto de iluminación. Por otro lado, este artículo del CPE-19 indica que se puede usar 1500 VA por circuito ramal para los tomacorrientes. La siguiente tabla resume lo mencionado.

TABLA 8: DEMANDA DE POTENCIA DE ILUMINACIÓN Y TOMACORRIENTES

CÁLCULO DE CARGAS	
Iluminación	
#Puntos por circuito ramal de 15 A	46
Carga por circuito ramal [VA]	20
TOTAL [VA]	920
Tomacorrientes	
#Circuitos de 20 A	5
Carga por circuito ramal [VA]	1500
TOTAL [VA]	7500
TOTAL [VA]	8420

Para las cargas especiales se utiliza una potencia de 5500 VA para la cocina de inducción, el horno, secadora y el jacuzzi.

Finalmente, se tiene que usar diferentes factores de demanda para completar el cálculo de cargas de la vivienda.

Para la parte de iluminación y tomacorrientes se usa la tabla 220-11 del CEN como se muestra en la siguiente figura.

TABLA 9:FACTORES DE DEMANDA PARA ALIMENTADORES DE CARGAS Y ILUMINACIÓN

Tipo de ocupación	Parte de la carga de alumbrado a la que se aplica el factor de demanda (VA)	Factor de demanda %
Unidades de vivienda	Primeros 3 000 o menos	100
	De 3 001 a 120 000	35
	A partir de 120 000	25
Hospitales*	Primeros 50 000 o menos	40
	A partir de 50 000	20
Hoteles y moteles incluidos bloques de apartamentos sin cocina	Primeros 20 000 o menos	50
	De 20 001 a 100 000	40
	A partir de 100 000	30
Depósitos	Primeros 12 500 o menos	100
	A partir de 12 500	50
Todos los demás	VA totales	100

Ya que es una unidad de vivienda se usa la primera parte de la tabla la cual menciona que los primeros 3000 VA se los pone al 100% mientras que 3000 VA a 120000 VA se los pone al 35%, ya que en nuestro caso no tenemos más carga y este sería el último caso. Usando esto el resultado final de la potencia es el siguiente.

$$3000 \text{ VA al } 100\% = 3000 \text{ VA}$$

$$(8420 - 3000) \text{ VA al } 35\% = 1897 \text{ VA}$$

Lo que nos da como una potencia final entre iluminación y tomacorrientes de 4897 VA.

Por otro lado, para las cargas especiales se usan las tablas 220-18 y 220-19 del CEN como se muestran en las siguientes figuras.

TABLA 10: FACTORES DE DEMANDA PARA SECADORAS DOMESTICAS ELECTRICAS DE ROPA

Número de secadoras	Factor de demanda %
1	100
2	100
3	100
4	100
5	80
6	70
7	65
8	60
9	55
10	50
11 - 13	45
14 - 19	40
20 - 24	35
25 - 29	32,5
30 - 34	30
35 - 39	27,5
De 40 en adelante	25

TABLA 11:FACTORES DE DEMANDA PARA ELECTRODOMESTICOS

Número de artefactos	Demanda máxima (kW) (véanse Notas)	Factor de demanda (%) (véase Nota 3)	
		Columna B (menos de 3,5 kW nominales)	Columna C (de 3,5 a 8,75 kW nominales)
1	8	80 %	80 %
2	11	75 %	65 %
3	14	70 %	55 %
4	17	66 %	50 %
5	20	62 %	45 %
6	21	59 %	43 %
7	22	56 %	40 %
8	23	53 %	36 %
9	24	51 %	35 %
10	25	49 %	34 %
11	26	47 %	32 %
12	27	45 %	32 %
13	28	43 %	32 %
14	29	41 %	32 %
15	30	40 %	32 %
16	31	39 %	28 %
17	32	38 %	28 %
18	33	37 %	28 %
19	34	36 %	28 %
20	35	35 %	28 %
21	36	34 %	26 %
22	37	33 %	26 %
23	38	32 %	26 %
24	39	31 %	26 %
25	40	30 %	26 %
26 - 30	15 más 1 kW	30 %	24 %
31 - 40	por cada estufa	30 %	22 %
41 - 50	25 más 0,75 kW	30 %	20 %
51 - 60	por cada estufa	30 %	18 %
De 61 en adelante		30 %	16 %

En el caso de la secadora como solo se tiene una se usa su potencia nominal al 100% es decir 5500 VA. La tabla 220-19 indica que para 3 aparatos se usa un factor de demanda de 55%. La siguiente tabla muestra los resultados finales para las cargas especiales con los valores nominales y aplicados el factor de demanda.

TABLA 12: DEMANDA DE CARGAS ESPECIALES

Cargas Especiales		DEMANDA
Cocina Inducción [VA]	5500	3025
Horno [VA]	5500	3025
Secadora [VA]	5500	5500
Jacuzzi [VA]	5500	3025
TOTAL [VA]		14575

Por último, se presenta una tabla en la que se resume todo lo mencionado anteriormente es decir el cálculo de la potencia nominal y también aplicada el factor de demanda correspondiente.

TABLA 13: DEMANDA DE POTENCIA FINAL CON FACTOR DE DEMANDA

CÁLCULO DE CARGAS		
		Factores de demanda
Iluminación		
#Puntos por circuito ramal de 15 A	46	
Carga por circuito ramal [VA]	20	
TOTAL [VA]	920	535,064133
Cargas Pequeñas		
#Circuitos de 20 A	5	
Carga por circuito ramal [VA]	1500	
TOTAL [VA]	7500	4361,935867
TOTAL [VA]	8420	4897
Cargas Especiales		
Cocina Inducción [VA]	5500	3025
Horno [VA]	5500	3025
Secadora [VA]	5500	5500
Jacuzzi [VA]	5500	3025
TOTAL [VA]		14575
TOTAL [VA]		19472

Como se puede observar se tiene que la potencia total a usarse va a ser de 19472 VA.

Circuitos ramales:

Como especifica el NEC (Código Ecuatoriano de la Construcción) – Instalaciones eléctricas cada circuito de iluminación es de 15 A y cada circuito de tomacorrientes es de 20 A. Respecto al calibre de los cables se usa una 14 AWG para los de 15 A y 12 AWG para los de 20 A.

Para los circuitos de iluminación se tienen 46 puntos. Para iluminación se establecen circuitos de 15 A los cuales tienen una capacidad efectiva de 1440 VA. Por lo tanto, cada circuito de iluminación de 15 A soporta hasta 72 puntos de iluminación de 20W (LED) cada uno.

Por seguridad y por la extensión del domicilio es conveniente dividir la iluminación en más de 3 o 4 circuitos sectorizados. Para este caso se hicieron 5 circuitos como se muestran en los planos presentados anteriormente.

La siguiente tabla muestra en resumen todos los datos mencionados hasta el momento.

TABLA 14: CÁLCULOS DE LOS CIRCUITO

CIRCUITO S	DESCRIPCIÓN	# Puntos	Calibre (AWG)	Capacidad [A]	Protección [A]	Canalización	Fase A	Fase B	Fase C
CIRCUITOS CARGAS (TOMACORRIENTES)									
L1	Estudio ,PORCHE 1,RECIBIDOR	9	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
L2	COCINA	8	12	16	20	PVC 1/2		872,4	
L3	DORMITORIO 1	9	12	16	20	PVC 1/2			872,4
L4	LAVANDERÍA	3	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
L5	COMERDO, SALA 1	6	12	16	20	PVC 1/2		872,4	
CARGAS ESPECIALES									
L6 ESPECIAL	COCINA INDUCCION	1	10	25	30	PVC 3/4		1513	1513
L7 ESPACIAL	HORNO	1	10	25	30	PVC 3/4	1512,5	1513	
L8 ESPECIAL	JACUZII	1	10	25	30	PVC 3/4	1512,5		1513
L9 ESPACIAL	SECADORA	1	10	25	30	PVC 3/4		2750	2750
CIRCUITOS LUCES (ILUMINACIÓN)									
C1	COCINA,PORCHE2,COMEDOR	10	14	15	20	PVC 1/2			116,3
C2	DORMITORIO1	12	14	15	20	PVC 1/2	139,58		
C3	SALA 1	8	14	15	20	PVC 1/2		93,05	
C4	ESTUDIO,RECIBIDOR,PASILLO	13	14	15	20	PVC 1/2			151,2
C5	LAVANDERÍA	3	14	15	20	PVC 1/2	34,895		
TOTAL [VA]							4944,3	7613	6915

3.6 BALANCE DE CARGAS

A continuación, se presenta el balance de las cargas con sus respectivas fases equilibradas en la tabla 8.

TABLA 15: BALANCE DE CARGAS

CIRCUITOS	DESCRIPCIÓN	# Puntos	Calibre (AWG)	Capacidad [A]	Protección [A]	Canalización	Fase A	Fase B	Fase C
CIRCUITOS CARGAS (TOMACORRIENTES)									
L1	Estudio ,PORCHE 1,RECIBIDOR	9	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
L2	COCINA	8	12	16	20	PVC 1/2		872,4	
L3	DORMITORIO 1	9	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
L4	LAVANDERÍA	3	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
L5	COMERDO, SALA 1	6	12	16	20	PVC 1/2	872,39		
CARGAS ESPECIALES									
L6 ESPECIAL	COCINA INDUCCION	1	10	25	30	PVC 3/4	1512,5	1513	
L7 ESPACIAL	HORNO	1	10	25	30	PVC 3/4	1512,5		1513
L8 ESPECIAL	JACUZII	1	10	25	30	PVC 3/4		1513	1513
L9 ESPACIAL	SECADORA	1	10	25	30	PVC 3/4		2750	2750
CIRCUITOS LUCES (ILUMINACIÓN)									
C1	COCINA,PORCHE2,COMEDOR	10	14	15	15	PVC 1/2			116,3
C2	DORMITORIO1	12	14	15	15	PVC 1/2			139,6
C3	SALA 1	8	14	15	15	PVC 1/2			93,05
C4	ESTUDIO,RECIBIDOR,PASILLO	13	14	15	15	PVC 1/2			151,2
C5	LAVANDERÍA	3	14	15	15	PVC 1/2			34,9
TOTAL [VA]							6514,5	6647	6310

3.7) ACOMETIDA PARA LA RED ELECTRICA

Para el diseño de acometida eléctrica subterránea se expone en la figura 11.

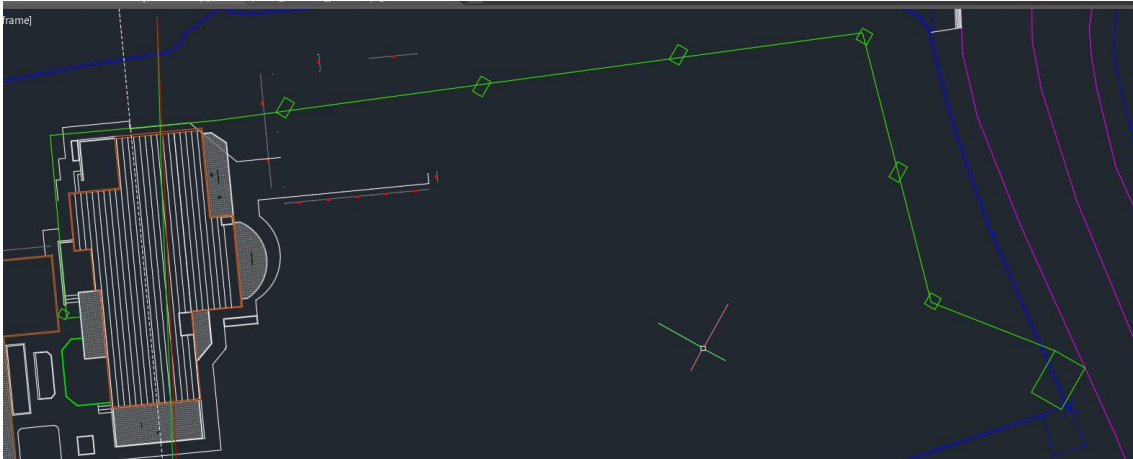


FIGURA 11: DISEÑO DE ACOMETIDA SUBTERRÁNEA MEDIDOR-VIVIENDA

La acometida se basa en la instalación eléctrica desde el alimentador eléctrico hasta el domicilio donde se consumirá energía. Para la acometida nos basamos en las normativas del NEC2017. El primer requerimiento que solicitan para la instalación del alimentador eléctrico, es poseer un tubo galvanizado de 2" ½ para extender el cable de baja tensión del poste más cercano a la vivienda. El esquema se observa en la figura 12.

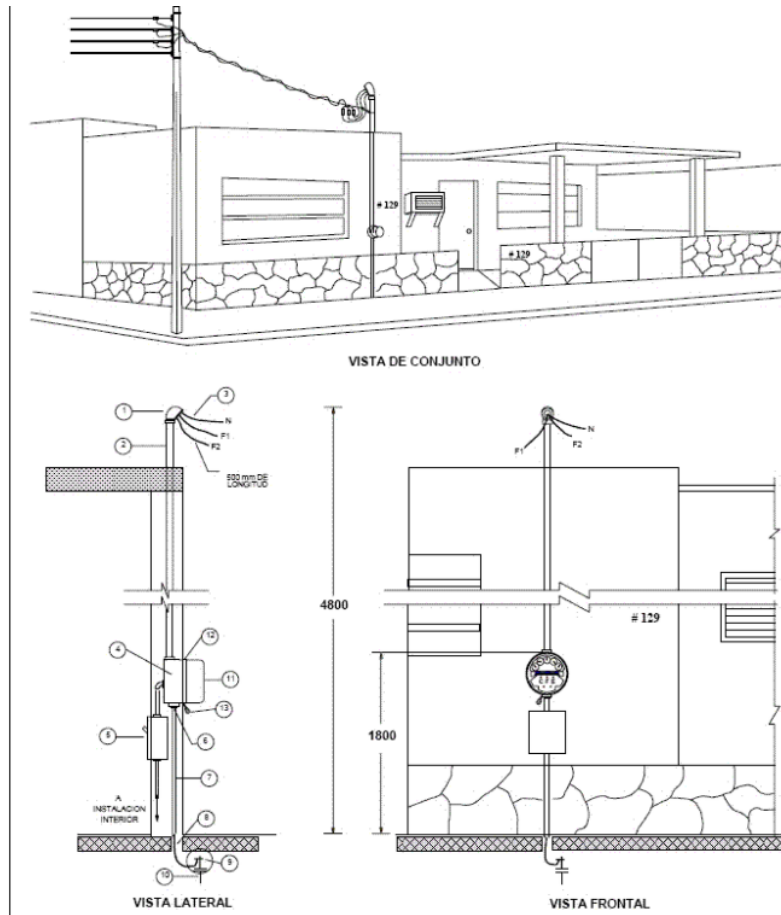


FIGURA 12: INSTALACIÓN DE TUBO GALVANIZADO

Luego de tener instalado el tubo según la normativa del NEC2017 para acometidas subterráneas, debemos instalar un pozo de revisión con dimensiones 60cm * 60cm que se lo llama de TIPO A. La entrada del pozo viene desde el alimentador eléctrico con una manguera de 2" tipo polietileno. El esquema se da en la figura13.

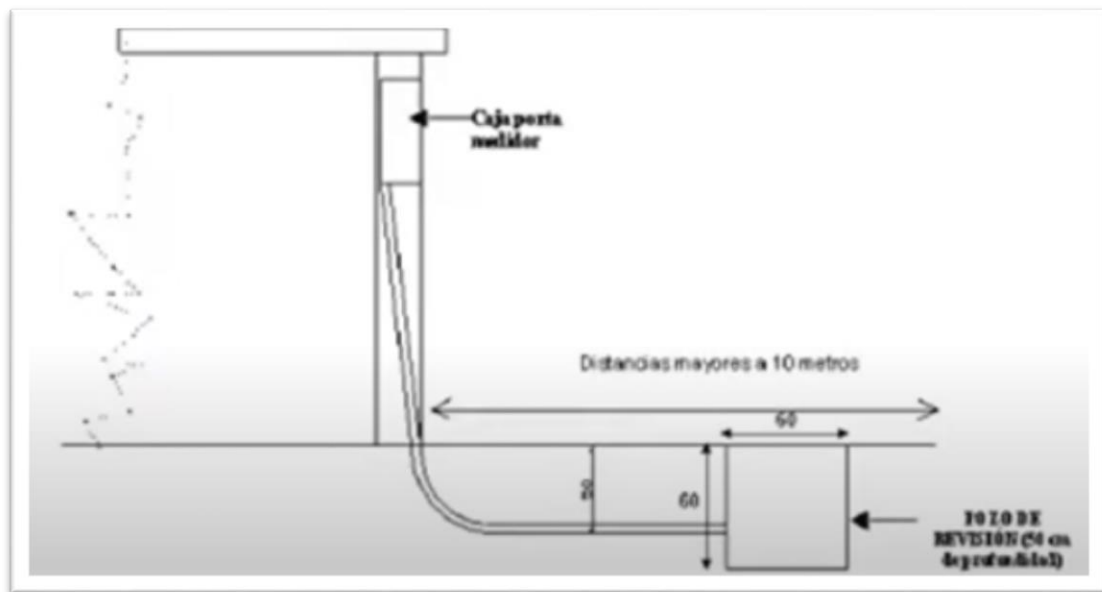


FIGURA 13: ESQUEMA DE ACOMETIDA MEDIDOR-POZO DE REVISIÓN

FUENTE: NEC (2017)

Para los pozos de revisión tenemos medidas de 60cm*60cm*80cm según el NEC2017 para lugares transitados por vehículos. La tapa del pozo debe estar con marco metálico y refuerzo de una parrilla de hierro, su esquema se muestra en la figura 14.

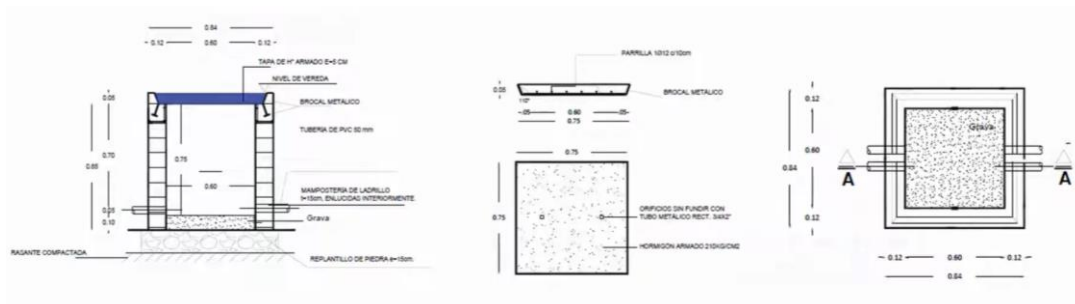


FIGURA 14: DISEÑO DE POZOS DE REVISIÓN

FUENTE: NEC (2017)

Para los ductos pueden ser PVC o de Hormigón que cumplan el código INEN tipo 2 pesado. Los ductos deben tener el 60% libre para disipar el calor y mantener refrigerado los cables. El dimensionamiento está dado en la figura 15.

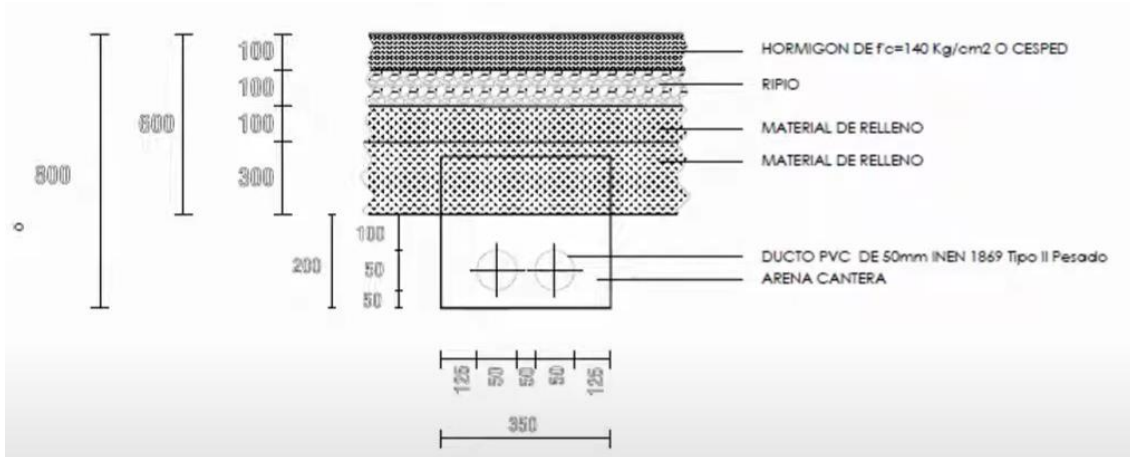


FIGURA 15: ESQUEMA DE DUCTOS

FUENTE: NEC (2017)

3.8) PUESTA A TIERRA

Para la puesta a tierra se utiliza la normativa ANSI/NFPA 70-250, consiste en instalar electrodos (varilla cobre) con una longitud de 1.8 m. Cada tablero debe tener su propia conexión de tierra y los tableros secundarios su respectivo puente a la tierra. El calibre del conductor mínimo es de #8 AWG. Para nuestro diseño se utilizará de calibre #10 por los datos tomados y la selección de la tabla del NEC2017. El tamaño y su capacidad están expuestos en la tabla9.

TABLA 16: TAMAÑOS DE CALIBRES DE ACOMETIDAS

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	(A)	Conductor de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)

FUENTE: NEC (2017)

La puesta a tierra es una parte muy importante para la seguridad de las personas que van a habitar la residencia, se muestra el esquema de instalación en la figura16.

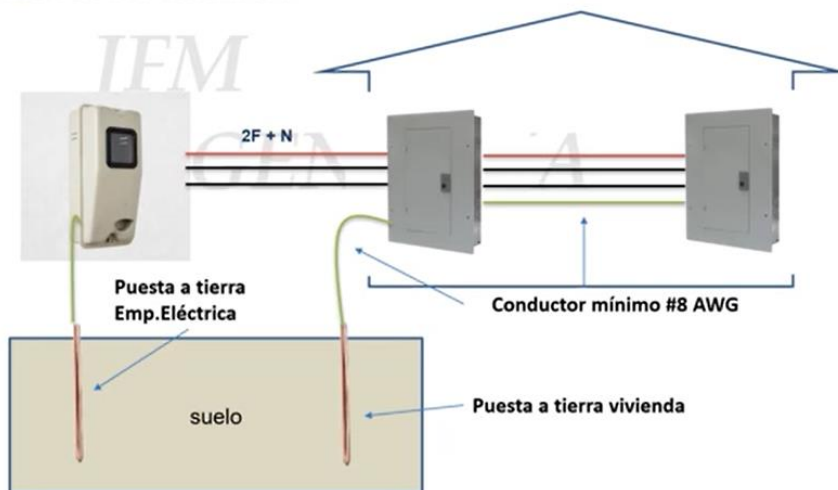


FIGURA 16: ESQUEMA DE PUESTA A TIERRA

FUENTE: NEC (2017)

4. MEMORIA DE CALCULO PARA EL SUMINISTRO FOTOVOLTAICO


	ANÁLISIS, DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE UNA RESIDENCIA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
Departamento	Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Documento	BASES Y CRITERIOS DE DISEÑO
Código del Documento	USFQ-00109791-MCF-0

TABLA 17: CRONOGRAMA DE REVISIONES

Revisión	Fecha	Próxima revisión	Revisado por	Aprobado por
A	5/10/2020	B	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
B	7/11/2020	C	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
C	15/12/2020	D	Alberto Sánchez	Alberto Sánchez
D	13/12/2020			

INDICE

4.1 Objetivo.....	47
4.2 Alcance	47
4.3 Estándares y normativas para el diseño.....	47
4.4 Planificación de la instalación y dimensionamiento fotovoltaica	47
4.5 Memoria de cálculo.....	49

4.1 OBJETIVO

El objetivo es calcular y dimensionar el sistema de energía fotovoltaica de la vivienda.

4.2 ALCANCE

El alcance es presentar el diseño de energía fotovoltaica de la vivienda con sus respectivos cálculos y dimensionamientos.

4.3 ESTANDARES Y NORMATIVAS PARA EL DISEÑO

A continuación, se presentan las normativas utilizadas para el diseño eléctrico del domicilio.

TABLA 18: NORMATIVA UTILIZADA

Normativas	TEMA
ARCONEL	Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica

4.4 PLANIFICACIÓN DE LA INSTALACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICA

Para el dimensionamiento e instalación de los paneles solares necesitamos el esquema unifilar mostrada en la figura 17.

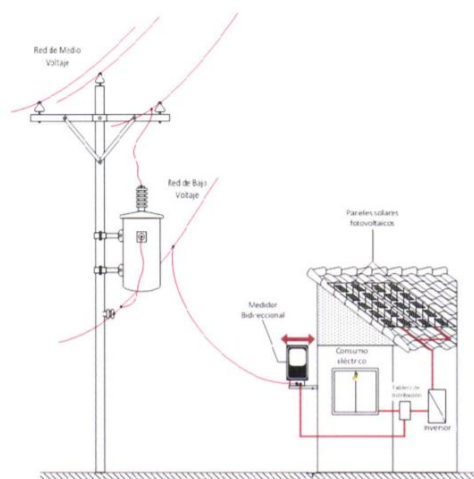


FIGURA 17: DIAGRAMA UNIFILAR FOTOVOLTAICA

FUENTE: ARCONEL

Para el sistema instalado nosotros generamos una cierta cantidad mensual donde se distribuye a la vivienda. En caso de generar excedentes de energía se podrá entregar a la red de baja tensión de la empresa Eléctrica Quito con un mecanismo de balance mensual neto, este balance se indica en la figura 18.

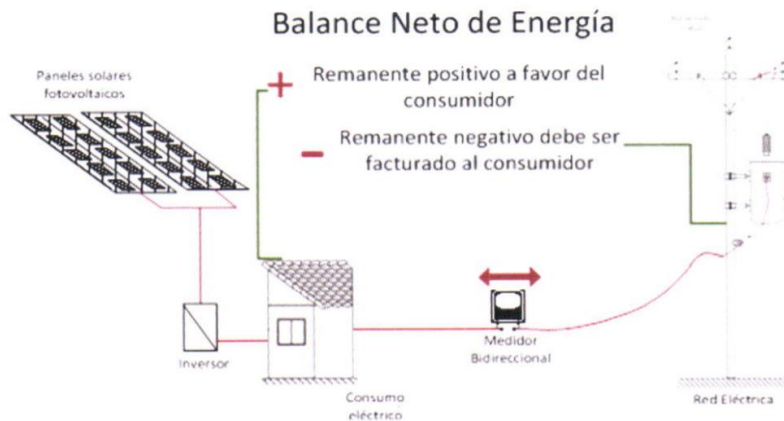


FIGURA 18: ESQUEMA DE BALANCE NETO

FUENTE: ARCONEL

El balance será realizado por la empresa Eléctrica Quito en los 10 primeros días del siguiente mes con la siguiente expresión.

$$\Delta E = (ENERGÍA CONSUMIDA DE LA RED - ENERGÍA INYECTADA DE LA RED)$$

Cuando:

ΔE : resultado del balance neto es < 0 ; negativo

ΔE : resultado del balance neto es > 0 ; positivo

4.5 Memoria de cálculo

Para hacer los cálculos necesarios del sistema fotovoltaico se empieza por realizar una tabla con la potencia que se consumirá diariamente por una semana. La siguiente tabla se muestra la demanda de potencia.

TABLA 19: DEMANDA DE POTENCIA

Potencia consumida				
Descripción	unidades	[W]	[h]	[Wh/dia]
Televisores	4	250	5	5000
Iluminación	15	20	4	1200
Refrigerador	1	300	24	7200
Microondas	1	1000	1	1000
Cargas Pequeñas	6	60	5	1800
TOTAL		2960		16200

Como se puede observar en la tabla la potencia total a consumirse será de 16200 Wh/dia a este valor se le aplica un factor de rendimiento de 75% lo que nos da:

$$\frac{16200}{0.75} = 21600 \text{ Wh/dia}$$

Una vez encontrada la demanda semanal se procedió por calcular la irradiación que tiene el terreno, para esto se usó un programa especializado llamado PVGIS al cual se le puede dar datos como la latitud y longitud donde se encuentra el terreno y da como resultado datos como la producción eléctrica mensual la suma media mensual de la irradiación global como se muestra en la siguiente figura 19.

Energía FV y radiación solar mensual

Mes	E_m	H(i)_m	SD_m	
Enero	126.4	169.6	10.7	E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema dado [kWh].
Febrero	112.0	150.7	10.8	H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m ²].
Marzo	118.1	158.4	5.2	SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].
Abril	112.8	151.3	8.5	
Mayo	118.6	158.6	6.7	
Junio	121.0	161.2	8.0	
Julio	131.8	175.5	7.5	
Agosto	131.8	176.2	7.7	
Septiembre	125.1	168.1	14.3	
Octubre	124.0	167.4	6.7	
Noviembre	119.4	160.9	7.8	
Diciembre	119.8	160.7	11.5	

FIGURA 19: VALORES MENSUALES DE PRODUCCIÓN SOLAR

De todos estos valores se escoge el valor más desfavorable de la suma media mensual de la irradiación global que es en el mes de febrero. Ya que estos valores son mensuales y los que se calculó al inicio son diarios se los divide para 31. Una vez encontrado el valor que se necesita se calcula el valor de horas sol pico (HSP) el cual simplemente se encuentra dividiendo el valor encontrado para 1kW/m² que representa a la radiación solar incidente que se utiliza para calibrar los equipos.

Para encontrar el número de paneles necesarios se usa la siguiente fórmula.

$$\#Paneles = \frac{P}{HSP * r * P_p}$$

Donde P es la potencia necesaria o requerida, HSP son las horas sol pico, r es el factor de rendimiento de los paneles y P_p es la potencia pico de los paneles.

La potencia pico de los paneles cotizados es de 400 W mientras que para el factor de rendimientos se tuvo en cuenta que este va entre 0.7 y 0.8 por lo que se escogió el más desfavorable y se obtuvo como resultado lo siguiente

$$\#Paneles = \frac{21600}{4.86 * 0.8 * 400} = 13.88$$

Lo que nos indica que se necesitan al menos 14 paneles solares para abastecer la vivienda con energía fotovoltaica.

Conociendo cuantos paneles se necesitan se procedió por dimensionar los inversores para lo cual se necesita la potencia nominal que se consumirá que se encuentra en la tabla 7.

La potencia nominal es de 2960 W. La siguiente fórmula indica cual debería ser la potencia de salida del inversor.

$$P_{salida} = P_n * C_s$$

Donde P_n es la potencia nominal y C_s es el coeficiente de simultaneidad y es de 0.7. Aplicando esta fórmula se obtiene que como mínimo la potencia de salida del inversor debería ser de 20712 W, por lo que se cotizo un inversor de 4 kW.

Para la selección del inversor utilizamos los datos de la potencia nominal y sus características se presentan en la figura20.

MODELO		PV35-4K	PV35-5K	PV35-6K	PV35-8K	PV35-10K	PV35-12K
Voltaje de Baterías del Sistema		24V	48V	48V	48V	48VDC	48VDC
SALIDA INVERSOR	Potencia del Inversor	4KW	5KW	6KW	8.0KW	10.0KW	12.0KW
	Pico potencia (20ms)	12KW	15.0KW	18.0KW	24.0KW	30.0KW	36.0KW
	Capacidad arranque motores	2HP	2HP	3HP	4HP	5HP	6HP
	Tipo de Onda	Onda pura / igual que en la entrada (modo bypass)					
	Voltaje nominal salida RMS	220V/230V/240VAC(+/-10% RMS)					
	Frecuencia de salida	50Hz/60Hz +/-0.3 Hz					
	Eficiencia del inversor (Pico)	>85%			>88%		
	Eficiencia modo red	>95%					
	Factor de potencia	0.8					
	Tiempo de transferencia típico	10ms(max)					
ENTRADA AC	Voltaje	230VAC					
	Rango voltaje seleccionable	154~272VAC(Para ordenadores)					
	Rango frecuencia	50Hz/60Hz (Automático)					
BATERÍA	Voltaje mínimo arranque	20.0VDC/21.0VDC for 24VDC mode (40.0VDC/42.0VDC for 48VDC mode)					
	Voltaje batería baja	21.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (42.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)					
	Voltaje desconexión batería baja	20.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (40.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)					
	Alarma alto voltaje	32.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (64.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)					
	Recuperación alarma alto voltaje	31.0VDC +/-0.3V for 24VDC mode (62.0VDC +/-0.6V for 48VDC mode)					
	Consumo en vacío / modo espera	<25W con ahorro de energía			<25W con ahorro de energía		
CARGADOR AC	Voltaje cargador	En función voltaje batería					
	Térmico protección entrada AC	30A	30A	30A	40A	50A	63A
	Protección sobrecarga	31.4VDC para modelo 24VDC (62.8VDC para modelo 48VDC)					
	Máxima corriente de carga	65A	40A	35A	40A	70A	80A

FIGURA 20: CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR. [6]

Finalmente, se pondrán cinco paneles en serie para que se pueda trabajar dentro del rango requerido, esto implica que se pondrán dos circuitos en paralelo de cinco paneles cada uno y un circuito que también estará en paralelo, pero solo con cuatro paneles solares.

REFERENCIAS

- [1] Colegio Oficial De Ingenieros de Telecomunicación , «Energia Solar Fotovoltaica,» 2002. [En línea].Available: http://wordpress.cmes.staging.bitendian.com/wp-content/uploads/2018/07/energia_solar_fotovoltaica_4MB.pdf. [Último acceso: 05 12 2020].
- [2] O.P.LAMIGUEIRO,«EnergíaSolarFotovoltaica,»032013.[Enlínea]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Perpinan_Lamigueiro/publication/249012821_Energia_Solar_Fotovoltaica/links/02e7e51e80783f1d9f000000/Energia-Solar-Fotovoltaica.pdf. [Último acceso: 20 11 2020].
- [3] Aguamarket, «Diccionario,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/diccionario/resultados.asp>. [Último acceso: 08 11 2020].
- [4] NATIONAL ELECTRICAL CODE, NATIONAL ELECTRICAL CODE COMMITTEE, 2017.
- [5] GLOSARIO SENER ELECTRICIDAD , «Glosario de terminos de electricidad,» [En línea]. Available: http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf. [Último acceso: 08 11 2020].
- [6] AutoSolar, «ENERGÍA SOLAR,» [En línea]. Available: <https://autosolar.es/inversores-cargadores-48v/inversor-cargador-10000w-48v-mppt-120a-must-solar>. [Último acceso: 15 10 2020].