

# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



# **SUMARI DE DOCUMENTS**

- Memòria.
- Estudi econòmic.
- Avantprojecte.
- Annexos.



# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**Memòria**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



## **Dedicatòria.**

A la meva mare i al meu pare, per tants anys de patiment, per tanta bona educació, per tant del seu temps dedicat a mi. Per tot.

A la meva germana per la seva comprensió, la seva estima i la seva companyia.

A la meva parella i companya de vida, per tot el seu temps sacrificat per aquesta etapa, pel seu recolzament incondicional.

A tots ells els hi dedico cada una d'aquestes pàgines.





## **Agraïments.**

A la meva família, pel seu recolzament infinit i incondicional, sobretot en els moments més difícils en aquesta etapa de superació personal.

Als meus companys de carrera i amics: Ismael Galisteo, Carlos Contento, Albert Herrera i Jose Carlos Muñoz, ja que sense ells dubto que el resultat hagués estat el mateix, formem un gran equip.

Als meus amics, per tots els moments de desconexió necessaris i per l'aportació de somriures i converses que han subministrat l'energia suficient per finalitzar el camí.

A tot l'equip docent de l'enginyeria per la paciència i els coneixements transmesos, en especial a la ponent de la present memòria, Virginia Espinosa, que amb la seva comprensió, paciència i esforç, m'ha guiat per la culminació d'aquesta etapa tant important a la meva vida.

A tots, us ho agraeixo infinitament.



## **Resum**

En aquest projecte s'ha estudiat la viabilitat d'aprofitar l'energia tèrmica residual per a generar energia elèctrica.

Posterior a l'estudi, s'ha dissenyat una unitat d'adquisició de dades totalment autònoma, que transmet les dades físiques al núvol mitjançant una comunicació sense fils. La unitat aprofita el calor residual de les canonades del circuit tancat del Tub Verd, a Mataró, per alimentar-se elèctricament, i poder captar i transmetre la temperatura superficial de la canonada. La temperatura llegida i enviada, fa viable la detecció d'una possible avaria greu al llarg del circuit del Tub Verd.

## **Resumen**

En éste proyecto se ha estudiado la viabilidad de aprovechar la energía térmica residual para generar energía eléctrica.

Posterior al estudio, se ha diseñado una unidad de adquisición de datos totalmente autónoma, que transmite los datos físicos a la nube mediante una comunicación sin hilos. La unidad aprovecha el calor residual de las tuberías del circuito cerrado del Tub Verd, en Mataró, para alimentarse eléctricamente, y poder captar y transmitir la temperatura superficial de la tubería. La temperatura leída y enviada, hace viable la detección de una posible avería grave al largo del circuito del Tub Verd.

## **Abstract**

In this project, the viability of using residual thermal energy to generate electrical energy has been studied.

After the study, a fully autonomous data acquisition unit has been designed, which transmits the physical data to the cloud through wireless communication. The unit takes advantage of the residual heat of the pipes of the closed circuit of Tub Verd, in Mataró, to feed electrically, and to be able to capture and transmit the superficial temperature of the pipe. The temperature read and sent, makes viable the detection of a possible serious fault along the Tub Verd circuit.



# Índex.

Índex de figures.....	III
Índex de taules.....	V
Glossari de termes. ....	VII
1. Objectius.....	1
1.1. Propòsit. ....	1
1.2. Finalitat. ....	1
1.3. Objecte. ....	1
1.4. Abast. ....	1
2. Introducció. ....	3
2.1. Estat de l'art. ....	3
2.1.1. Energy Harvesting.....	3
2.1.2. Efecte termoelèctric.....	8
2.1.3. Transferència tèrmica. ....	12
2.1.4. Projectes i aplicacions termoelèctriques.....	15
2.2. Rang d'actuació i limitacions del projecte.....	22
3. Objectius del projecte de detall i especificacions tècniques. ....	25
4. Marc conceptual. ....	27
4.1. El Tub Verd de Mataró. ....	27
4.1.1. Descripció.....	27
4.1.2. Funcionament. ....	28
4.1.3. Resultats actuals. ....	30
4.2. Cèl·lules termoelèctriques. ....	31
4.2.1. Cèl·lula termoelèctrica com escalfador/refredador. ....	33
4.2.2. Cèl·lula termoelèctrica com a generador.....	35
4.2.3. Model elèctric d'un TEG.....	37
4.2.4. Anàlisi i selecció de TEG pel projecte. ....	38
4.3. Tipus de comunicació <i>wireless</i> . ....	40
5. Desenvolupament de la solució.....	45
5.1. Metodologia. ....	45
5.2. Descripció d'elements.....	46
5.2.1. TEG.....	47

5.2.2. Sonda de temperatura. ....	49
5.2.3. Convertidor de senyal de temperatura. ....	50
5.2.4. Emissor de dades SigFox. ....	51
5.3. Dimensionat de l'etapa d'adquisició d'energia. ....	53
5.3.1. Dimensionat tèrmic. ....	54
5.3.2. Dimensionat elèctric. ....	58
5.4. Distribució d'unitats d'adquisició al Tub Verd. ....	62
5.5. Detall de funcionament. ....	63
6. Planificació del projecte. ....	67
6.1. Planificació inicial. ....	67
6.2. Desviacions de la planificació. ....	69
7. Impacte mediambiental del projecte. ....	77
7.2. Accions d'impacte. ....	78
7.3. Factors ambientals d'impacte. ....	78
8. Conclusions. ....	81
8.1. Conclusió del projecte. ....	81
8.2. Justificació de les desviacions. ....	83
8.4. Punts forts i febles del projecte. ....	85
8.4.1. Punts forts. ....	85
8.4.1. Punts febles. ....	85
8.5. Possibles millores i futures línies de treball. ....	86
9. Referències. ....	89

## Índex de figures.

Fig. 2.1 - Total de dispositius connectats a IoT. Font: SEMICO Research.....	5
Fig. 2.2 - Principals tecnologies de EH. Font: Article Piezoelectric Energy Harvesting Solutions [5].....	5
Fig. 2.3 - Potències de les principals tecnologies de EH. Font: Texas Instruments. ....	7
Fig. 2.4 - Representació efecte Seebeck.....	8
Fig. 2.5 - Representació gràfica de l'efecte Peltier.....	10
Fig. 2.6 - Representació gràfica de l'efecte Thompson. Font: www.researchgate.net .....	11
Fig. 2.7. - Smartwatch PowerWatch de Matrix. Font: www.powerwatch.com. ....	16
Fig. 2.8 - HEAT-R i exemple d'instal·lació del mòdul de AEInnova. Font: AEInnova.....	17
Fig. 2.9 - Verificacions del projecte TEGMarine. Font: TEGma. ....	18
Fig. 2.10 - Anàlisi d'energia consumida d'un automòbil. Font: [24]. ....	19
Fig. 2.11 - Implementació Thermagy a TATA Steel. Font: RGS Development. ....	21
Fig. 2.12 - gSKIN de l'empresa GreenTEG. Font: GreenTEG. ....	22
Fig. 4.1 - Mapa de distribució del Tub Verd. Font: www.tubverd.cat. ....	28
Fig. 4.2 - Fases del Tub Verd. Font: Mataró Energia Sostenible (MES).....	30
Fig. 4.3 - Estructura de muntatge per cèl·lula termoelèctrica. Font: nergiza.com .....	31
Fig. 4.4 - Esquema exemple d'una cèl·lula termoelèctrica en mode refredador. Font: ScienceProg. ....	34
Fig. 4.5 - TEC model HP-127-1.4-1.5-74. Font: TE Technology INC. ....	35
Fig. 4.6 - Esquema exemple de funcionament d'un TEG. Font: OTE Materials.....	36
Fig. 4.7 - TEG model TE-MOD-22W7V-56. Font: TEGPro. ....	37
Fig. 4.8 - Equivalent de Thevenin d'un TEG.....	38

Fig. 4.9 - Relació dels diferents dispositius TEG analitzats: A.- Kryotherm TGM-127-2.0-1.3. B.- TEGpro TGPR-22W-7V-56S. C.- Marlow TG12-8-01LS. ....	39
Fig. 4.10 - Topologia estàndard SigFox. Font: Libelium. ....	41
Fig. 4.11 - Cobertura SigFox mundial. Font: <a href="http://www.sigfox.com">www.sigfox.com</a> . ....	42
Fig. 4.12 - Cobertura SigFox a Espanya. Font: <a href="http://www.sigfox.com">www.sigfox.com</a> . ....	43
Fig. 5.1 - Unitat DAQ dividida en conceptes.....	47
Fig. 5.2 - TEGpro TGPR-22W-7V-56S.....	48
Fig. 5.3 - Sonda Pt100 de Remberg, model Pt-S12D6-10M. Font: <a href="http://www.linkersystem.com">www.linkersystem.com</a> . ....	50
Fig. 5.4 - LTC2983 de Linear Technology. Font: <a href="http://experimentalavionics.com">experimentalavionics.com</a> . ....	51
Fig. 5.5 - Diagrama del LTC2983.....	51
Fig. 5.6 - Waspnote de Libelium. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	52
Fig. 5.7 - Mòdul SigFox de Libelium. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	52
Fig. 5.8 - Waspnote amb mòdul SigFox. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	53
Fig. 5.9 - Informació de catàleg LOGSTOR, característiques de canonades. ....	55
Fig. 5.10 – Model elèctric objectiu equivalent del muntatge TEG.....	59
Fig. 5.11 – Gràfica del voltatge en circuit obert, en funció de $\Delta T$ . ....	60
Fig. 5.12 - Model elèctric equivalent del muntatge TEG amb dades. ....	61
Fig. 5.13 - Proposta de distribució d'unitats d'adquisició de temperatura al llarg del Tub Verd. ....	63
Fig. 5.14 - Solució esquemàtica general. ....	64
Fig. 5.15 - Muntatge de TEGs per aprofitament d'energia tèrmica de la canonada.....	65
Fig. 5.16 - Etapa d'adquisició, conversió i enviament de la unitat.....	66
Fig. 6.1 - Gantt de la fase de disseny. ....	73
Fig. 6.2 - Gantt de la fase d'implementació.....	75



## **Índex de taules.**

Taula 4.1 - Taula anàlisi TEGs. ....	39
Taula 4.2 - Comparativa dels 3 mètodes de comunicació. ....	41
Taula 5.1 – Característiques de projecte del TEG seleccionat.....	48
Taula 7.1 - Accions d'impacte a les fases del projecte. ....	78
Taula 7.2 - Factors ambientals d'impacte. ....	78



## Glossari de termes.

AC	Corrent alterna.
Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Bismut-Tel·lur.
BOE	Bolletí oficial de l'Estat.
CH <sub>4</sub>	Metà.
CO <sub>2</sub>	Diòxid de carboni.
COP	Coefficient of Performance – Coeficient de rendiment.
CTRSUM	Consorci pel Tractament de Residus Sòlids Urbans del Maresme.
CTVRSU	Consorci de Tractament i Valorització de Residus Sòlids Urbans.
Cu-Bi	Coure-Bismut.
DAQ	<i>Data acquisition.</i>
DC	Corrent contínua.
DHC	<i>District Heating and cooling.</i>
EDAR	Estació d'Aigües Residuals.
EH	<i>Energy Harvesting.</i>
EM	Electromagnètiques.
EUA	Estats Units d'Amèrica.
ICB	Índex de cost – beneficis.
IEEE	Institut d'Enginyeria Elèctrica i Electrònica.
IMO	<i>International Maritime Organization</i> – Organització Marítima Internacional.
IoT	<i>Internet of Things</i> – Internet de les coses.
IVA	Impost sobre el valor afegit.
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network.</i>
MESH	Topologia de comunicació tipus malla.
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration.</i>

ONU	Organització de les Nacions Unides.
ORC	Cicle Orgànic de Rankine.
PbTe	Tel·lur de Plom.
PERR-TO-PEER	Topologia de comunicació punt a punt.
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desplegament de la funció de qualitat.
RF	Radio freqüència.
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i> – Detector de temperatura resistiu.
SiGe	Silíci-Germani.
SM	Semiconductor.
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> .
Tc	Temperatura cara freda.
TC	<i>Turbo-Compound</i> .
TEC	<i>Thermoelectric cooler</i> – Generador tèrmic.
TEG	<i>Thermoelectric generator</i> – Generador termoelèctric.
Th	Temperatura cara calenta.
TIR	Tassa interna de retorn.
VAN	Valor actual net.
VOC	Voltatge en circuit obert.
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i> .
WSN	<i>Wireless sensor network</i> - xarxa de sensors sense fils.
Z	Figura de Mèrit.
ZT	Figura de Mèrit expressada conjuntament amb la mitjana de la temperatura.

# 1. Objectius.

## 1.1. Propòsit.

S'ha estudiat la viabilitat de l'aprofitament d'energia tèrmica sobrant del Tub Verd, motivat per la millora continua en el desenvolupament de materials de cèl·lules termoelèctriques. L'energia tèrmica recollida per mitjà de generadors termoelèctrics basats en el principi de Seebeck, s'utilitza per dissenyar una xarxa de sensors, autònoms i sense bateries, que obtenen la lectura de la temperatura superficial del circuit del Tub Verd.

## 1.2. Finalitat.

Comprovar la capacitat d'*Energy Harvesting*, concretament d'energia tèrmica, del circuit del Tub Verd, on circula aigua calenta d'impulsió a 85-90 °C, i així poder alimentar elèctricament sensors distribuïts a distàncies determinades al llarg del circuit, per mesurar un paràmetre físic d'interès pel projecte, creant així una xarxa de sensors autònoms ó *Wireless sensor network* (WSN).

## 1.3. Objecte.

Estudi i disseny d'un sistema d'aprofitament d'energia tèrmica residual, mitjançant generadors termoelèctrics, reutilitzant-la per alimentar sensors sense bateries. La incorporació de sensors ha permès el disseny d'una topologia de xarxa de comunicació *wireless* per l'enviament de dades obtingudes al centre de control del Tub Verd.

## 1.4. Abast.

S'especifica l'estudi, el disseny i el dimensionat del sistema proposat per a crear una WSN viable. S'ha incorporat també, la rendibilitat econòmica del projecte. Resta fora de l'abast, la projecció d'un prototip específic per al sistema d'adquisició d'energia tèrmica i la fase final d'implementació del projecte a sòl urbà.



## 2. Introducció.

Des de que existeix la humanitat, ha hagut de consumir energia per la seva supervivència. Tan per a bo com per a dolent, l'energia ha representat, representa i representarà, un pilar essencial de la societat.

Durant tota l'evolució humana, les necessitats creixents d'energia han comportat diferents mètodes d'extracció i d'ús, juntament amb diferents tipus de fonts del recurs. Aquesta creixent i imparabile tendència, també representa un efecte molt negatiu pel Planeta, ja que moltes d'aquestes fonts d'energia utilitzades, principalment les fòssils, resulten molt contaminants i tenen data d'extinció.

És per aquest motiu que en les últimes dècades, la tendència de la societat és apostar per energies renovables i sostenibles. Les més conegudes, com poden ser la eòlica o la solar, responen a demandes de nivell mitjà o alt d'energia, en canvi, la societat cada vegada viu amb més dispositius electrònics de baix consum, gràcies als avenços de la tecnologia, on aquestes necessitats responen a nivells baixos de consum.

Aquest fet, ha generat una nova manera d'interpretar l'energia, un nou concepte, conegut com *Energy Harvesting*.

### 2.1. Estat de l'art.

Per a contextualitzar i donar una introducció al contingut i objectiu de la present memòria, s'han d'introduir els conceptes que seguidament s'exposen.

#### 2.1.1. Energy Harvesting.

El terme *Energy Harvesting* (A partir d'ara, EH), fa referència al procés pel qual s'aprofita l'energia residual present a l'ambient per produir energia elèctrica, que pot ser emmagatzemada o utilitzada per alimentar petits dispositius elèctrics o electrònics de baix consum o de baixa potència, amb l'objectiu de poder subministrar energia a dispositius

autònoms i sense fils [1]. La traducció literal del concepte és collita d'energia, sent molt significat.

Els dispositius autònoms que funcionen amb alimentació elèctrica, necessiten de bateries o sistemes d'emmagatzematge d'energia pel seu correcte funcionament. El concepte EH, permet poder eliminar les bateries d'aquests dispositius, el resultat d'això suposaria la reducció d'un contaminant immens actual, o des d'una altra perspectiva: significaria poder allargar la vida útil de les bateries d'aquests dispositius, ja que els cicles de càrrega/descàrrega es reduirien considerablement.

Actualment, hi ha un clar augment de la necessitat d'obtenir cada vegada més informació sobre sistemes domèstics, industrials, entre d'altres, per optimitzar la pròpia gestió d'aquests sistemes [2]. Un concepte innovador, per exemple, és el de *Internet of Things* ó IoT, que augura un futur pròxim on tots els dispositius transmetran informació del que controlaran, i podran ser gestionats remotament. Amb EH aplicat, es podria aconseguir que a més, fossin autònoms i sense fils. La evolució dels dispositius IoT es pot veure a la Fig. 2.1.

Un exemple del mencionat, és ZigBee [3], que és una aliança la qual crea un llenguatge de comunicació sense fils, de baix consum, amb l'objectiu que els dispositius es comuniquin entre si, i puguin ser controlats remotament. A més, distribueixen dispositius de molt baix consum compatibles amb la seva xarxa.

Les necessitats són tan clares i creixents, que un estudi en diferents segments preveu un augment de 288.088 milions de dòlars al 2.017, fins a 591.531 milions de dòlars al 2.022 sobre el mercat de sistemes EH, segons RESEARCH AND MARKETS [4].



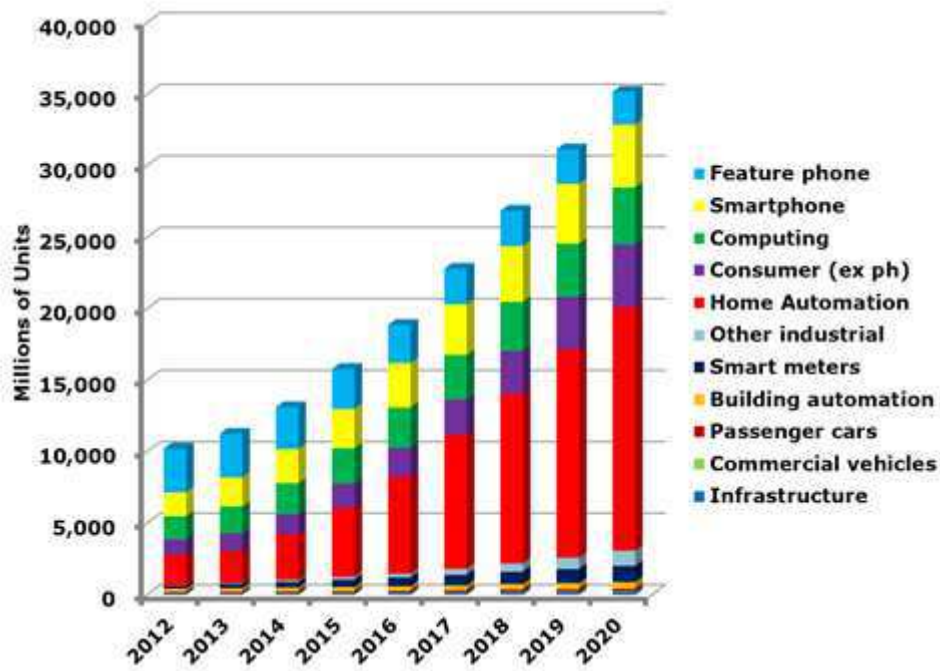


Fig. 2.1 - Total de dispositius connectats a IoT. Font: SEMICO Research.

Les principals tecnologies de collita d'energia són, les vibracions, l'energia solar o llum, l'efecte tèrmic i l'energia de les ones electromagnètiques de radio freqüència, tal com es veu a la Fig. 2.2.

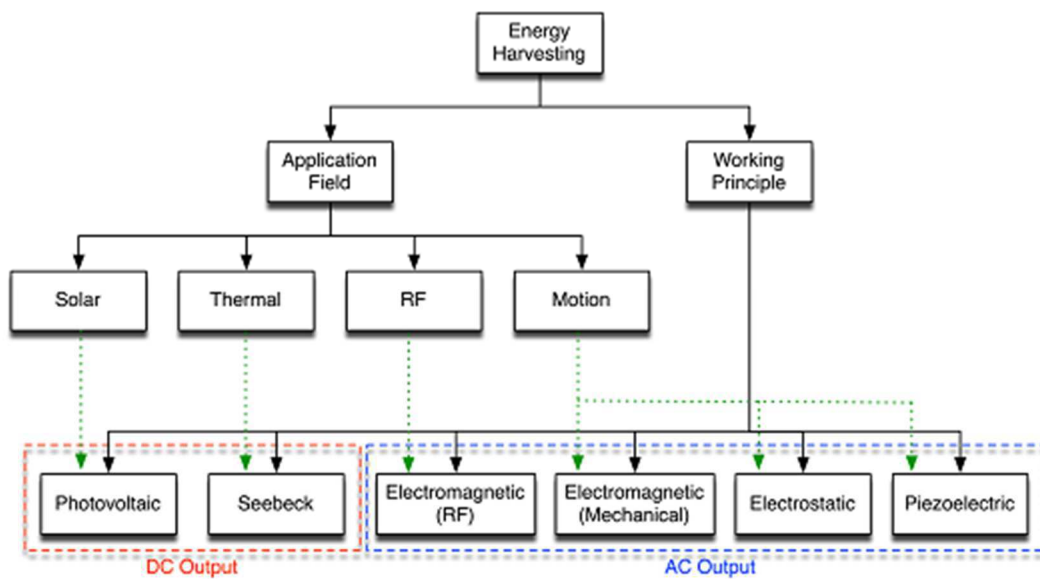


Fig. 2.2 - Principals tecnologies de EH. Font: Article Piezoelectric Energy Harvesting Solutions [5].

- **Energia solar o llum:** El mitjà més conegut és la recollida d'energia que irradia el Sol, a través de les cèl·lules solars. Aquestes cèl·lules transformen la radiació electromagnètica en la banda de l'infraroig tèrmic del Sol, en energia elèctrica.

Un exemple d'aquesta tecnologia es pot trobar al parc solar de El Casar, a la província de Guadalajara, que subministra 13 MW d'energia elèctrica per alimentar a 7.200 habitatges de la província [6].

- **Energia de Radio Freqüència (RF):** Es tracta de transformar l'energia de les ones electromagnètiques (EM) dins de l'interval freqüencial corresponent, al de la RF que emeten infinitat de dispositius, en energia elèctrica. S'ha de tenir en compte que el nombre d'emissors d'ones de radio continua creixent, per tant, és una font d'energia en contínua expansió.

Per exemple, la marca PowerCast® comercialitza el xip Px110 915MHz RF Powerharvester™, que pot generar fins a 5,25 V de sortida, amb un corrent de 50 mA, amb el senyal de RF del ambient [7].

- **Energia del moviment o de vibracions:** Es tracta de recollir energia de vibracions de motors industrials, moviments d'objectes, moviments del cos humà o d'animals. Els sensors recollidors són piezoelèctrics, que transformen aquesta energia de moviment en energia elèctrica.

PAVEGEN, és una empresa anglesa que realitza projectes per aconseguir energia elèctrica mitjançant les petjades de persones al carrer [8].

- **Energia tèrmica:** Es tracta de capturar l'energia tèrmica residual en molts sistemes, i transformar-la en energia elèctrica. Aquesta transformació es realitza mitjançant materials termoelèctrics o piroelèctrics, que serien els encarregats de realitzar la captació i transformació, que detecten variacions o gradients de temperatura i ho processen. Aquests materials respondrien a l'efecte termoelèctric.

L'empresa alemanya Micropelt, comercialitza solucions i productes per automatitzar el control de temperatura domèstic mitjançant l'efecte termoelèctric, i amb la possibilitat d'enviar dades mitjançant comunicació ZigBee [9].

Les quantitats d'energia aproximada que es poden recollir, de les quatre principals tecnologies del EH, es poden veure a la Fig.2.3.

Energy Source	Characteristics	Efficiency	Harvested Power
Light	Outdoor Indoor	10~24%	100 mW/cm <sup>2</sup> 100 μW/cm <sup>2</sup>
Thermal	Human Industrial	~0.1% ~3%	60 μW/cm <sup>2</sup> ~1-10 mW/cm <sup>2</sup>
Vibration	~Hz-human ~kHz-machines	25~50%	~4 μW/cm <sup>3</sup> ~800 μW/cm <sup>3</sup>
RF	GSM 900 MHz WiFi	~50%	0.1 μW/cm <sup>2</sup> 0.001 μW/cm <sup>2</sup>

Fig. 2.3 - Potències de les principals tecnologies de EH. Font: Texas Instruments.

La present memòria tracta sobre una de les tecnologies de EH, concretament la del reaprofitament d'energia tèrmica mitjançant recol·lectors termoelèctrics. Es per això que la documentació en endavant, és més concisa sobre l'efecte termoelèctric.

Les fonts d'energia ambiental més comuns són els processos industrials i la tecnologia, ja que sempre tenen pèrdues. Per exemple, en centrals elèctriques, quasi tota l'energia al món és generada per motors tèrmics, que són turbines accionades per gas o vapor, i aquesta energia mecànica és convertida en elèctrica [10].

La indústria a Europa crema cada any 63 milions d'euros i els llança a l'atmosfera. Traduint això en termes energètics [11]:

**Al voltant del 65% d'energia consumida en processos productius, es rebutja en forma d'emissions. Generalment, es perd en xemeneies i en conductes de transport, i suposa, només a Europa, prop del 21% de tota l'energia consumida.**

### 2.1.2. Efecte termoelèctric.

L'efecte termoelèctric és la conversió d'una diferència de temperatura sobre materials termoelèctrics en voltatge elèctric, i l'inrevés. La NASA, per exemple, va utilitzar l'efecte termoelèctric per primera vegada als anys 70, per generar energia per a les sondes Voyager, que 40 anys després, encara alimenten els seus circuits mitjançant aquest efecte.

A moltes fonts d'informació, l'efecte termoelèctric es pot trobar com efecte Peltier-Seebeck, tot i que aquest efecte es pot dividir en tres efectes diferenciats: efecte Peltier, efecte Seebeck, efecte Thomson.

#### I. Efecte Seebeck.

El primer efecte descobert, relacionat amb la termoelectricitat, va ser l'efecte Seebeck. El físic que el va descobrir, va ser l'alemany Thomas Johann Seebeck, que va començar a investigar sobre la relació entre la calor i l'electricitat. Va ser al 1921, quan estava soldant dos materials diferents (Cu-Bi) i aplicant calor a un d'ells, va observar que es generava un camp elèctric entre ells, i que si aquest calor se li aplicava a la unió dels materials, es generava una diferència de potencial entre ells [12], tal com es veu a la Fig.2.4.

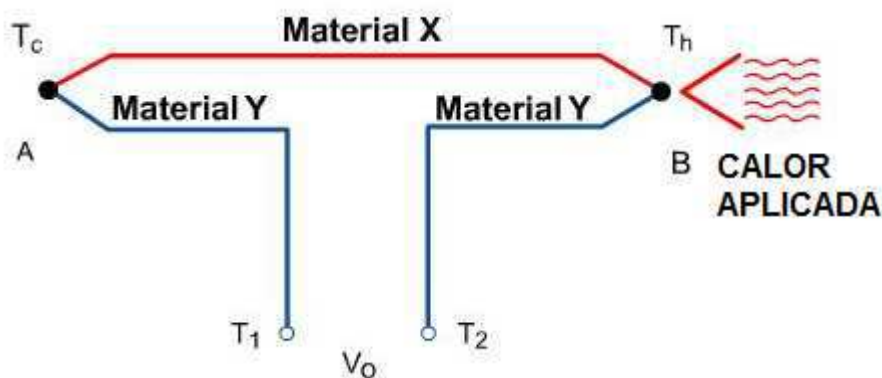


Fig. 2.4 - Representació efecte Seebeck.

Connectant una càrrega per a tancar el circuit obert de l'extrem fred entre els dos materials, es genera un corrent i un voltatge continu sobre la càrrega, que és proporcional a la diferència de temperatura entre la part calenta i la freda. Aquesta generació d'energia elèctrica no té

cap pas entremig de correcció, és per això que l'energia termoelèctrica és classificada com una conversió d'energia directe [13].

És important realitzar l'observació que el corrent generat en circuit tancat, depèn de la resistència dels conductors i de la càrrega, en canvi, la força electromotriu generada és únicament funció de la diferència de temperatura entre les unions i de la natura dels materials [14].

Seguint la mateixa terminologia de la representació de l'efecte Seebeck exposat a la Fig.2.4., es defineix doncs, com a coeficient Seebeck ( $\alpha$ ) l'expressió (2.1).

$$\alpha_{XY} = \frac{(V_{T1} - V_{T2})}{(T_h - T_c)} = \frac{V_o}{\Delta T} \quad (2.1)$$

On el coeficient de Seebeck dels materials X i Y és  $\alpha_{xy}$ , la força electromotriu generada per l'efecte Seebeck és  $V_o$ , i la diferència de temperatura entre la unió calenta i freda és  $\Delta T$ .

## II. Efecte Peltier.

Aquest efecte termoelèctric va ser descobert al 1834, pel físic francès Jean Charles Athanase Peltier, denominat com l'efecte Peltier.

L'efecte Peltier va sorgir sobre la base del efecte Seebeck, el qual consisteix en l'escalfament o refredament d'una unió entre dos materials diferents al circular una intensitat elèctrica a través d'ella. Si el sentit d'aquesta corrent canvia, també canvia el sentit del flux de calor. És a dir, si s'aplica un corrent elèctric a una unió de dos materials diferents en un sentit, la unió cedirà calor, i al invertir aquest corrent, la mateixa unió absorbirà calor, per tant, es refredarà [14]. La representació d'aquest efecte es pot veure a la Fig. 2.5.

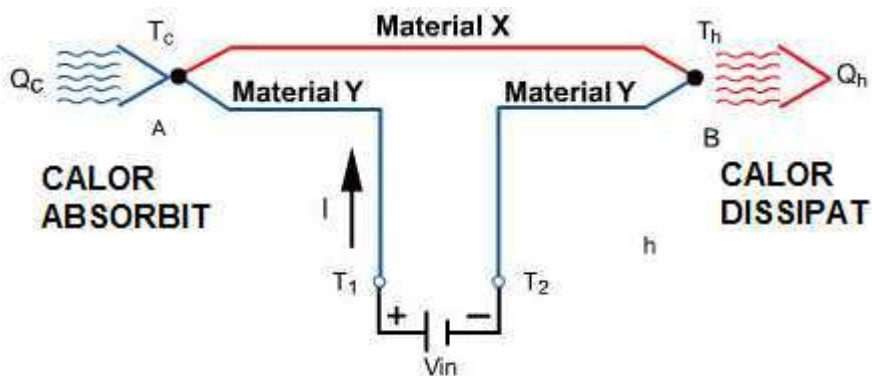


Fig. 2.5 - Representació gràfica de l'efecte Peltier.

És important realitzar l'observació, que aquest efecte és reversible i independent de la forma i dimensions dels conductors. Depèn només de la composició dels materials i de la temperatura de la unió.

Aquesta dependència resulta ser, també, lineal i és descrita pel coeficient de Peltier ( $\pi$ ), que es defineix com el calor generat en la unió entre el material X i Y per unitat de corrent elèctrica, càrrega positiva, que circula del material Y al material X.

Seguint la mateixa terminologia de la representació de l'efecte Peltier exposat a la Fig.2.5., es defineix doncs, com a coeficient Seebeck ( $\pi$ ), l'expressió (2.2).

$$\pi_{XY} = \frac{Q}{I} \quad (2.2)$$

On el coeficient Peltier del material X i Y, és  $\pi_{xy}$ , la calor generada o absorbida és  $Q$ , i la intensitat elèctrica que circula a través de la unió dels materials X i Y és  $I$ .

El fet de que el calor de la unió sigui proporcional al corrent elèctric, i no al corrent elèctric al quadrat, marca la diferència respecte l'efecte Joule [14].

L'efecte Joule és el fenomen que s'observa al circular un corrent elèctric per un conductor, i part de l'energia cinètica d'aquest electrons en moviment és dissipada en forma de calor que genera el propi material conductor. Aquest efecte és irreversible.

En el cas en que es vulgui fer un escalfament o refredament mitjançant l'efecte Peltier, si es fa circular un corrent elèctric suficientment gran pels materials que produeixen la unió per l'efecte Peltier, a part d'escalfar o refredar per aquest efecte, es produiria un escalfament per efecte Joule. Cosa que pot generar errors de mesures o discrepància entre la temperatura que es vol aconseguir, i la que es mesura.

### III. Efecte Thompson.

L'efecte Thompson va ser descobert pel físic i matemàtic William Thompson, també conegut com Lord Kelvin, al 1.947-54.

Aquest efecte termoelèctric consisteix en l'absorció o alliberació de calor per part d'un conductor homogeni, amb temperatura no homogènia, pel que circula un corrent elèctric. Aquest calor alliberat, és proporcional al corrent, no al seu quadrat (efecte Joule), i és per això que canvia de signe a l'invertir el sentit del corrent [14].

S'absorbeix calor al fer passar corrent elèctric des del punt més fred, al més calent, i s'allibera calor quan el flux de corrent va del més calent al més fred. La representació d'aquest efecte, es pot veure a la Fig. 2.6.

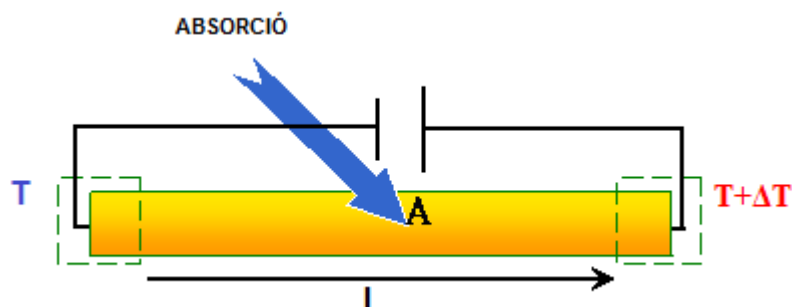


Fig. 2.6 - Representació gràfica de l'efecte Thompson. Font: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Es pot observar que aquest efecte es produeix sobre un sol material, i no cal cap unió de dos materials diferents, com el que s'ha vist als efectes anteriors, Peltier i Seebeck.

El coeficient Thompson ( $\tau$ ), expressa que per la injecció de corrent elèctric  $I$ , produeix un gradient de temperatura ( $\partial T/\partial x$ ), que indueix una velocitat d'escalfament o refredament ( $\partial Q/\partial x$ ) per unitat de longitud [12]. Tal com es veu a (2.3).

$$\tau = \frac{\frac{\partial Q}{\partial x}}{I \frac{\partial T}{\partial x}} \quad (2.3)$$

Les relacions entre els coeficients termoelèctrics poden determinar-se per els principis de la termodinàmica irreversible. Aquestes relacions, que determina Thompson, són conegudes com les lleis de Kelvin [15], tal com es veu a (2.4) i a (2.5).

$$\pi_{XY} = \alpha_{XY} T \quad (2.4)$$

$$\tau_X - \tau_Y = T \frac{\partial \alpha_{XY}}{\partial T} \quad (2.5)$$

L'efecte Joule, és per suposat, un efecte a considerar també, quant es treballa amb l'efecte Thompson.

### **2.1.3. Transferència tèrmica.**

L'energia calorífica es transmet des de les zones de més alta temperatura, a les zones de més baixa temperatura, amb un intent d'equilibrar tèrmicament el medi o material on es produeix la transferència [16]. La transmissió d'energia tèrmica es pot donar per mitjà de tres mecanismes bàsics: conducció, convecció i radiació.



## I. Conducció.

L'energia calorífica es transmet durant el contacte directe entre cossos, o entre parts del mateix cos, amb una diferència de temperatura, i té lloc mitjançant xocs o acoblaments entre molècules del sistema. La conducció és de gran importància per a sòlids, però és de menor importància en líquids i gasos, on normalment apareix combinat amb la convecció i és, pràcticament, emmascarat per aquest mecanisme [16].

Quant en aquests sòlids existeix un gradient de temperatura en la direcció  $x$ , el calor es transmet de la part calenta a la freda, sent el flux de calor transmès  $Q_{cd} [W]$ , proporcional al gradient de temperatura  $\partial T / \partial x$ , i a la superfície  $A [m^2]$ , a través de la qual es transmet, i també, de la conductivitat tèrmica  $k [W/m K]$ . Aquesta relació per establir el flux de calor, es coneix com la llei de Fourier, i es pot observar a (2.6).

$$Q_{cd} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.6)$$

El signe negatiu, és conseqüència del Segon Principi de la Termodinàmica, segons el qual, el calor ha de fluir cap a la zona de temperatura més baixa. El gradient de temperatura és negatiu si la temperatura disminueix per valors creixents de  $x$ , pel que si el calor transferit en la direcció positiva ha de ser una magnitud positiva, en el segon membre de la equació s'ha d'introduir un signe negatiu.

## II. Convecció.

Quan un fluid es posa en contacte amb una superfície sòlida a una temperatura diferent, el procés resultant d'intercanvi d'energia tèrmica es denomina convecció, i existeix de dos tipus, forçada o natural [17].

La convecció natural té com a força motriu la diferència de densitats del fluid, en canvi la convecció forçada, la força motriu és un element extern que fa circular aquest fluid.

Aquest mecanisme de transferència de calor només es produeix en fluids, on els àtoms i molècules són lliures de moure's pel medi. Definint la convecció com a  $Q_{cv} [W]$ , es troba que depèn d'un coeficient de convecció  $h [W/m^2 K]$ , de la superfície del sòlid que resta en

contacte amb el fluid  $A [m^2]$ , i de la diferència de temperatures entre la superfície  $T_s [K]$  i el fluid no afectat pel sòlid  $T_f [K]$ . Aquesta definició és coneguda com la llei de refredament de Newton, i es pot observar a (2.7).

$$Q_{cv} = h A (T_s - T_f) \quad (2.7)$$

El flux de calor per convecció és positiu si el calor es transmet des de la superfície del sòlid, al fluid, i és negatiu si la transferència de calor és al inrevés.

### III. Radiació.

L'energia calorífica es transmet en forma d'energia de radiació electromagnètica, emesa per tots els cossos pel fet d'estar a una temperatura  $T$ , i es propaga a la velocitat de la llum, ja que és llum de diferents longituds d'ona, a més pot ser absorbida pels cossos, augmentant així la seva temperatura [16].

La quantitat d'energia, o flux de calor, que abandona una superfície  $A [m^2]$ , depèn de la temperatura absoluta  $T [K]$  i de la natura de la superfície. Un radiador perfecte, o cos negre, emet una quantitat d'energia radiant  $Q_r [W]$  de la seva superfície, tal com es veu a (2.8) [17].

$$Q_r = \sigma A T^4 \quad (2.8)$$

Es pot observar la constant  $\sigma$ , que és coneguda com la constant de Stefan-Boltzmann, i que equival a  $5,67 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4]$ .

L'equació (2.8), sempre indica el valor menys restrictiu, ja que és definida com a cos negre. A la realitat existeix un factor  $\varepsilon$  com a propietat radiativa de la superfície, que s'anomena emissivitat, on el seu rang és  $0 < \varepsilon < 1$ , i es pot definir com una mesura de la eficiència amb la que la superfície emet energia radiant. Afegint la emissivitat, l'expressió es veu modificada, tal com es veu a (2.9).

$$Q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2.9)$$

### **2.1.4. Projectes i aplicacions termoelèctriques.**

L'Unió Europea té com a objectiu fins al 2020, produir el 20% de la seva energia a partir de fonts renovables, aconseguint una reducció del 20% de les emissions de gasos d'efecte hivernacle i una millora del 20% en l'eficiència energètica respecte als nivells de 1990. Per assolir aquests objectius, el consum d'energia ha de disminuir, el que resulta en la reducció de les emissions [18].

L'activitat humana genera grans quantitats de calor residual, les quals són descarregades contínuament al medi ambient. No obstant això, la majoria d'aquestes fonts tèrmiques es troben a baixes temperatures (menors que 150 °C), la qual cosa impedeix la seva recuperació mitjançant generadors convencionals [19].

Seguidament, es mencionen aplicacions, projectes o empreses distribuïdores de productes EH tèrmics, que a l'actualitat, fan possible un camí cap a aconseguir l'objectiu d'una reducció del desaprofitament d'energia que la societat viu.

#### **I. Rellotge de polsera termoelèctric.**

Un dels problemes de portar dispositius portables, és la seva autonomia, i el rellotge de polsera no és una excepció. L'empresa Matrix ha dissenyat un model de rellotge batejat com a PowerWatch, que s'alimenta de l'energia termoelèctrica del propi cos.

La part que transforma l'energia tèrmica en elèctrica, està col·locada a la part del rellotge que està en contacte amb la pell de la persona, mentre que la zona de la caràtula ha estat fabricada amb un material dissipador, per afavorir el flux de calor.

Disposa d'una petita bateria interna, concretament de 200 mAh, que serveix per a mantenir l'hora i la data si el rellotge deixa de tenir la font de calor. Conté funcions de SmartWatch, però només algunes, ja que de moment, l'energia generada pel circuit generador es queda curta, tot i tenir la possibilitat de comunicació per Bluetooth amb el mòbil [20]. El rellotge es pot veure a la Fig.2.7.



Fig. 2.7. - Smartwatch PowerWatch de Matrix. Font: [www.powerwatch.com](http://www.powerwatch.com).

## **II. Unitats de recuperació energètica industrial.**

L'empresa AEInnova, constituïda a finals del 2.014, des dels inicis ha tingut una orientació cap a la investigació, la innovació i el desenvolupament de nous productes relacionats amb energies alternatives, els sensors i l'Internet de les coses.

Formant part de la Fundació Repsol, estan desenvolupant tota una gama de productes relacionats amb la generació d'energia elèctrica a partir del calor residual. Un dels seus productes més interessants, per la relació amb la present memòria, són les unitats de recuperació energètica, anomenades HEAT-R, que ja estan considerades per l'ONU com a un dels sistemes que podrien canviar el món.

Aquest producte està orientat a la millora de l'eficiència energètica i a la reducció de la petjada de CO<sub>2</sub> de la indústria. S'instal·len directament als tubs de sortida de residu tèrmic de la indústria, posant-los en sèrie, on s'aconsegueix recuperar el calor residual mitjançant l'efecte termoelèctric. La mostra del dispositiu, es pot veure a la Fig. 2.8.

Cal afegir, que aquest projecte està finançat SME Instrument Phase 1 de la Comissió Europea.



Fig. 2.8 - HEAT-R i exemple d'instal·lació del mòdul de AEInnova. Font: AEInnova.

### III. Projecte TEGMarine.

El grup Scatec [21], és un grup d'empreses de Noruega, que té com a visió desenvolupar i implementar noves idees tecnològiques per produir energies renovables i materials avançats. Formant part d'aquest grup, destaca una empresa anomenada TEGma, ja que treballa en la línia d'aquesta memòria [22].

TEGma ha analitzat l'energia tèrmica residual que es produeix en el sector del transport, industrial i de l'automòbil, i desenvolupa nous materials i sistemes per aplicacions termoelèctriques d'alta temperatura, treballant en la línia de la reducció de la petjada de CO<sub>2</sub> que deixen aquests sectors, i aprofitant per a reduir el cost de l'energia produïda.

El primer sector marcat per aquesta empresa recuperadora d'energia tèrmica residual, és el sector de transport naval, essent un gran generador de calor residual, ja que la potència en les sales de màquines poden arribar a l'ordre de MW. Amb els sistemes de recuperació de calor residual, TEGma pretén reduir el consum de combustible un 3-5%, i acomplir l'objectiu de la IMO (*International Maritime Organization*) de reduir la petjada de CO<sub>2</sub> del transport naval, del 2.015 al 2.020 en un 10% [23].

Aquest projecte, anomenat TEGMarine, és la recerca i desenvolupament d'un sistema basat en generadors termoelèctrics, d'alt rendiment, per la recuperació del calor residual dels

sistemes d'escapament dels vaixells. Amb un finançament de 7,1 milions de Corones Noruegues des de 2.016 fins 2.018, per part de NFR i MAROFF.

Aquest projecte de desenvolupament, està en fase pilot a bord d'un vaixell de proves de 4 motors dièsel de 30 MW, amb un potencial d'estalvi d'energia pel sistema recuperador de 1.000-2.000 tones de dièsel/any per vaixell.

Les verificacions realitzades a petita escala, són possibles per desviaments a les canonades de conducció de fluids, tal com es pot veure a la Fig.2.9.



Fig. 2.9 - Verificacions del projecte TEGMarine. Font: TEGma.

#### **IV. Varis exemples de AETEG (TEG en l'Automòbil).**

La recuperació d'una part d'energia tèrmica residual dels sectors del transport, en especial de l'automòbil, ja fa anys que s'està investigant per part dels investigadors internacionals. Aquests propòsits són deguts a dades de pèrdua energètica, tal com que en un automòbil d'usuari, es calcula que l'energia utilitzada per la propulsió del vehicle és només del 25% del total consumit. La resta són pèrdues de calor, escapament de gas, refrigeració, entre d'altres, com es pot veure a la Fig. 2.10.

Tot i que el material termoelèctric comercial Bismut-Tel·lur ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) només té un 5% d'eficiència i un límit de temperatura del lateral calent de 250 °C, és possible generar energia elèctrica amb potència màxima d'1 kW a partir d'un motor. Si un automòbil està equipat amb un generador termoelèctric de 500W de generació, un cotxe de passatgers té capacitat per estalviar més del 2% de consum de combustible i, per tant, reduir l'emissió de  $\text{CO}_2$ . Un

generador termoelèctric té l'avantatge que és una peça compacta i immòbil, en relació amb altres tecnologies de collita tèrmica, com ara el Cicle Orgànic de Rankine (ORC) i Turbo-Compound (TC).

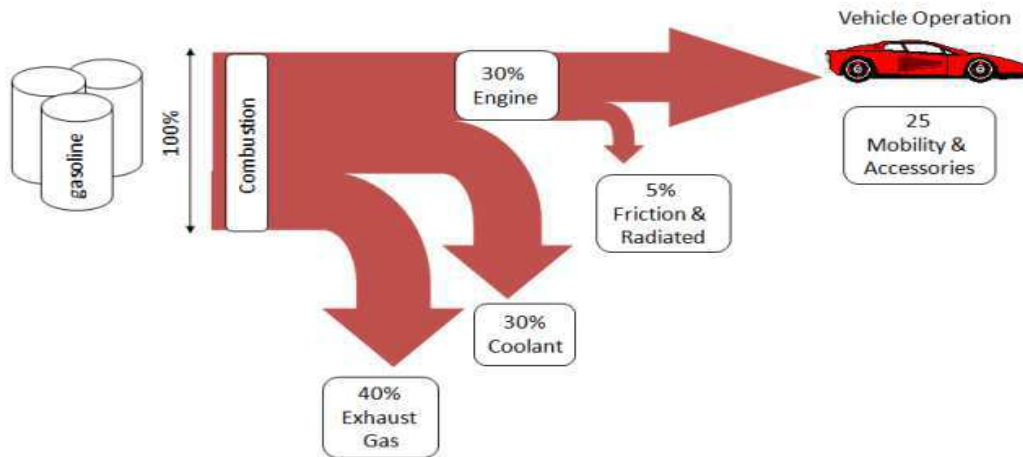


Fig. 2.10 - Anàlisi d'energia consumida d'un automòbil. Font: [24].

S'estan duent a terme treballs de recerca intensos per millorar l'eficiència tèrmica dels materials termoelèctrics i augmentar el límit de temperatura de la part calenta. Es preveu que els futurs generadors termoelèctrics tinguin una eficiència del 10% al 20%, i un límit superior de temperatura de 500 °C [18].

Els AETEG són generadors termoelèctrics d'escapament del automòbil, i seguidament, es mostren alguns èxits o esdeveniments en les línies d'investigació i desenvolupament dels AETEG [25].

En 1988, Porsche va desenvolupar un prototip per a la prova d'un AETEG, utilitzant el gas d'escapament i el sistema de circulació d'aigua del vehicle. El material del dispositiu que es va utilitzar va ser  $\text{FeSi}_2$ , i va ser connectat a un motor Porsche 944. Els resultats van tenir una bona cohesió amb els càlculs, per una diferència de temperatura de 490 K entre les parts freda i calenta de l'element. La potència de sortida era de 58 W per a 90 generadors termoelèctrics. A més, els autors van suggerir que l'ús d'altres materials amb una major figura de mèrit, podria millorar la potència de sortida.

En 1994, Hi-Z, realitza proves utilitzant vuit motors de camions dièsel finançats pel departament d'energia dels EUA i Califòrnia, *Energy Comissió*. El sistema AETEG, va

utilitzar 72 mòduls que van ser produïts per Hi-Z, amb material Bismut-Telur. L'estudi va discutir sobre l'ús de  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$  ó  $\text{SiGe}$ , i va decidir que  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  tenia el millor rendiment, independentment del seu màxim de temperatura de funcionament. L'objectiu era arribar a 1 kW d'energia elèctrica i com a resultat, la potència màxima va ser d'uns 1.068 W, a 300 cv i 1.700 rpm.

Al 2.009, els investigadors de BMW, van desenvolupar un prototip d'AETEG, basat en material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . El vehicle implicat, era un BMW 530i. Com a resultat de les proves, es va aconseguir al voltant de 200 W de potència elèctrica, mitjançant 24 mòduls recuperadors a 130 km/h. Finalment, es va afirmar que la futura potenciació dels generadors termoelèctrics anirà relacionada amb la millora de les qualitats del materials per a la seva fabricació.

En 2.014, X. Liu *et al.*, va construir un sistema de recollida d'energia, que es va utilitzar en un tub d'escapament d'automòbil. Es va fer una prova de carretera en un vehicle prototip anomenat *Warrior*. La potència màxima aconseguida va ésser de 600 W de mitjana, amb una diferència de temperatura de 182 °C, mentre que l'eficiència del sistema era de l'1,25%. Finalment, es va recomanar que l'optimització del disseny seria fonamental per millorar el rendiment d'un AETEG.

## **V. Thermagy.**

RGS Development, ha desenvolupat i comercialitzat Thermagy, uns panells a mida que, mitjançant la conversió termoelèctrica de l'efecte Seebeck, transformen l'energia tèrmica sobrant en electricitat.

La peculiaritat d'aquests mòduls generadors termoelèctrics, és que estan dissenyats per a treballar i recollir l'energia tèrmica d'indústria de processos d'alta temperatura. Tenen com a objectiu reduir la petjada de  $\text{CO}_2$  que realitza la indústria de processos, a més de reduir el consum energètic, per un model d'indústria més sostenible [26].



Aquests generadors termoelèctrics estan preparats per a treballar amb fonts d'escalfor de 700 °C a 1.200 °C, amb un resultat de sortida de potència del ordre de 1,5 kW/m<sup>2</sup> – 2,5 kW/m<sup>2</sup>, depenen de la situació i distància que es col·loqui el generador de la font de calor.

Les aplicacions són vàries, com per exemple a la indústria de fundació d'acer, *TATA Steel*, s'ha implementat recuperació d'energia tèrmica mitjançant Thermagy [26], com es pot veure a la Fig.2.11.

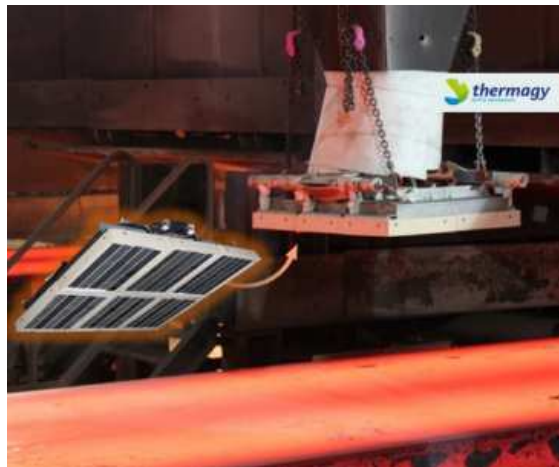


Fig. 2.11 - Implementació Thermagy a TATA Steel. Font: RGS Development.

## VI. GreenTEG.

GreenTEG AG, va ser fundada al 2.009 a Suïssa, i es dedica al desenvolupament, fabricació i comercialització de sensors tèrmics pel control de flux de calor, i potència ó posicionament làser. A més, ofereix consultoria sobre la integració tèrmica dels seus productes.

En el camp de la física de l'edificació, *U-Value* és el terme utilitzat per descriure el coeficient de transferència de calor d'un element de construcció, com per exemple, d'un mur. El *U-Value* descriu la qualitat d'aïllament d'un edifici. La unitat d'aquest coeficient és W/m<sup>2</sup>K. Com més petit sigui el coeficient, millor serà la qualitat d'aïllament de l'element de construcció.

Un dels productes més interessants d'aquesta empresa, és gSKIN, que no és més que un generador termoelèctric amb un disseny específic per a la correcta mesura del *U-Value*. Aquest producte doncs, es comercialitza amb un petit kit de muntatge i un software d'anàlisi, per obtenir les mesures corresponents del coeficient d'aïllament en el camp de l'edificació [27].

El gSKIN es pot veure seguidament, a la Fig.2.12.



Fig. 2.12 - gSKIN de l'empresa GreenTEG. Font: GreenTEG.

## **2.2. Rang d'actuació i limitacions del projecte.**

Per la correcta realització del projecte, s'han definit les limitacions de les tasques. Aquesta informació és necessària per visualitzar de manera ràpida, les tasques que s'han realitzat, i les que no. Seguidament, es detallen conceptes i tasques del projecte.

El projecte està comprès en les etapes i fases següents:

- Estudi i càlcul d'extracció d'energia tèrmica del circuit tancat d'aigua calenta del Tub Verd, mitjançant l'efecte Seebeck que es produeix en una cèl·lula termoelèctrica.
- Mostra esquemàtica de topologia de col·locació dels generadors termoelèctrics sobre la canonada.

- Cerca i argumentació de sensors de baix consum, sense bateria.
- Càlcul de capacitat i muntatge elèctric dels generadors termoelèctrics per alimentar els sensors.
- Raonament dels paràmetres físics a adquirir del sistema, per un augment d'informació amb la menor inversió possible.
- Disseny d'una xarxa de sensors sense cables viable pel sistema.
- Disseny d'una topologia viable de la xarxa de sensors sense cables.
- Selecció i justificació del protocol de la xarxa de sensors sense cables.
- Viabilitat completa de la solució.

No s'ha inclòs en el projecte:

- Disseny exhaustiu del mòdul i topologia de col·locació dels generadors termoelèctrics sobre la canonada.
- No s'ha dissenyat ni estudiat la configuració ni la trama del protocol de comunicació entre sensors escollit.
- No s'ha realitzat cap prova amb un prototip, ni tampoc cap prova de funcionament o simulació a laboratori.
- No s'ha comptat amb el seguiment de la fase d'implementació, degut a que la implementació pertany a l'empresa constructora. Aquest projecte només mostra programació i cost de la fase d'implementació, per tal de tenir una justificació detallada per la viabilitat econòmica.



### 3. Objectius del projecte de detall i especificacions tècniques.

S'han definit els objectius del projecte, juntament amb les especificacions tècniques associades per assolir-los de manera més eficient.

- I. Disseny i estudi d'un sistema *Energy Harvesting* per mitjà de cèl·lules termoelèctriques, per aprofitar l'energia tèrmica de rebuig del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd.
  - Generadors termoelèctrics amb una bona eficiència.
  
- II. Alimentació elèctrica dels sensors del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd, per mitjà de generadors termoelèctrics, per tal d'obtenir sensors autònoms.
  - Topologia de muntatge dels generadors termoelèctrics per maximitzar la conversió energètica.
  - Sensors de baix consum elèctric.
  
- III. Determinar les necessitats de paràmetres físics a obtenir a partir dels sensors, per un control òptim del sistema de distribució.
  - Minimitzar la varietat de sensors, maximitzant la informació.
  
- IV. Disseny i estudi d'una topologia de sensors adequada, pel correcte subministrament de dades a la central del Tub Verd, aconseguint per tant, una xarxa de sensors sense cables viable.
  - Protocol de comunicació *wireless* adient.
  - Distribució de sensors i elements de xarxa òptims.
  - Sensors amb capacitat de comunicació sense cables, o sistema amb aquesta capacitat i compatibilitat amb el sensor.

V. Obtenir un millor control del Tub Verd, mitjançant una incorporació d'adquisició de dades, amb una solució sostenible.

- Augment d'informació del sistema.
- Sensors autònoms i sense bateries.

S'ha realitzat un anàlisi *Quality Function Deployment* (QFD), per determinar la importància dels objectius i les especificacions tècniques pel projecte de la memòria. El detall de l'anàlisi QFD, es pot trobar a l'ANNEX 3 de l'avantprojecte. Les conclusions que s'han extret són les següents:

Els objectius més importants del projecte han estat, el de dissenyar i realitzar l'estudi d'un sistema EH per mitjà de cèl·lules termoelèctriques, per aprofitar l'energia tèrmica de rebuig del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd, a més d'aconseguir alimentació elèctrica dels sensors del circuit tancat, per mitjà de generadors termoelèctrics, per tal d'obtenir sensors autònoms, i finalment amb una lleu menor importància que els dos objectius anteriors, el d'obtenir un disseny d'una topologia de sensors adient, per aconseguir una xarxa de sensors sense fils viable. Per tant, els recursos que s'han invertit per assolir aquests objectius han estat majors a la resta.

Les especificacions tècniques que han estat més rellevants, i que han afectat a més d'un objectiu, són, la topologia de muntatge dels TEG per maximitzar la conversió energètica, a més de realitzar el projecte amb generadors termoelèctrics amb una bona eficiència, i treballar amb sensors de baix consum per a reduir l'exigència energètica dels generadors termoelèctrics.

## 4. Marc conceptual.

Previ al desenvolupament al detall de la solució del projecte, és molt important conèixer en més profunditat el que s'ha tractat al llarg del projecte de detall. Amb la contextualització que seguidament s'exposa, s'aconsegueix la comprensió total del contingut que més endavant es tracta.

### 4.1. El Tub Verd de Mataró.

El *Tub Verd* respon una xarxa urbana de distribució de calor i fred mitjançant la circulació d'aigua per canonades soterrades, a partir de l'energia de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Mataró i del Centre Integral de Valorització de Residus del Maresme [28].

Aquest tipus de xarxa urbana s'anomena *District heating and cooling* (DHC), i es emprada des de fa molts anys a altres països europeus, com a Àustria (Viena), on és gestionada Wien Energie, Bulgària, on es situen una dotzena de sistemes que daten de 1.949 repartits en pobles i ciutats, o Dinamarca, on el DHC cobreix més del 60% de la calefacció i l'escalfament d'aigua [29], entre d'altres països.

El projecte és impulsat per Aigües de Mataró, S.A. i Gas Natural Fenosa, i està relacionat amb l'Agenda 21 de la ciutat de Mataró.

És important per aquesta memòria, degut a que des del punt de vista adequat, aquesta xarxa de calor i fred que recorre la ciutat de Mataró, es pot entendre com una font d'energia per als generadors termoelèctrics al llarg de la ciutat.

#### 4.1.1. Descripció.

Com s'ha avançat prèviament, el Tub Verd és una xarxa urbana de calor i fred que transporta aigua calenta a 85-90 °C, i freda a 5-6 °C, a través de canonades d'acer aïllades tèrmicament, per evitar pèrdues tèrmiques, i sepultades sota terra. La iniciativa aprofita l'energia

procedent de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Mataró i del Consorci pel Tractament de Residus Sòlids Urbans del Maresme (CTRSUM) [28].

El sistema escalfa aigua per a dutxes, piscines, així com l'aire per climatitzar totes les zones o generar el fred per a aire condicionat. Aquesta xarxa arriba tant a edificis públics com privats, com per exemple l'Hospital de Mataró ó el Tecnocampus, i fins i tot a habitatges particulars com al barri de la Renglera de Mataró, amb una llargada actual de 18,5 km de canonades i distribució tal com es pot veure a la Fig. 4.1., següent.



Fig. 4.1 - Mapa de distribució del Tub Verd. Font: [www.tubverd.cat](http://www.tubverd.cat).

#### **4.1.2. Funcionament.**

El Tub Verd és un sistema tancat de recirculació d'aigua, amb un funcionament genèric molt similar al d'una calefacció domèstica clàssica. Concretant, es pot dividir en tres grans fases que divideixen el procés [30], tal com es pot veure a la Fig.4.2.:



Fase 1: La fase de recuperació. Aquesta fase consta de l'aprofitament d'energies residuals d'infraestructures ambientals a Mataró. Des de l'Estació d'Aigües Residuals (EDAR), s'aprofita l'energia tèrmica que genera la combustió del CH<sub>4</sub>, originat per la digestió anaeròbica de les aigües residuals de Mataró, que és bàsicament la descomposició del material biodegradable mitjançant bacteries [31]. Des del Consorci de Tractament i Valorització de Residus Sòlids Urbans (CTVRSU), s'aprofita l'energia tèrmica residual de la incineració de residus, que s'utilitza principalment per la generació d'energia elèctrica mitjançant generadors amb motors de vapor. Existeix un tercer possible assortiment d'energia, que és la caldera de gas natural, que s'utilitza per assegurar el servei de subministra, en cas de manca de recuperació dels altres dos mètodes.

Fase 2: Fase de transformació i producció. Pel circuit de calor, es manté la temperatura constant del circuit tancat, mitjançant l'aire calent de la crema del biogàs dels digestors de la EDAR, i el vapor ja utilitzat del CTVRSU. Pel circuit de fred, les màquines refredadores, pel mètode d'absorció o centrifugació, transformen en fred l'energia tèrmica aportada i mantenen la temperatura del circuit tancat d'aigua freda.

Fase 3: Distribució. Els circuits tancats d'aigua freda o calenta transporten l'energia tèrmica fins a l'usuari. Les instal·lacions de l'usuari final, consten d'un bescanviador que transfereix l'energia tèrmica de l'aigua del Tub Verd a l'aigua de l'usuari, sense tenir contacte. D'aquesta manera, es dona el servei tant com per climatització d'edificis, com per l'escalfament d'aigua d'ús domèstic.

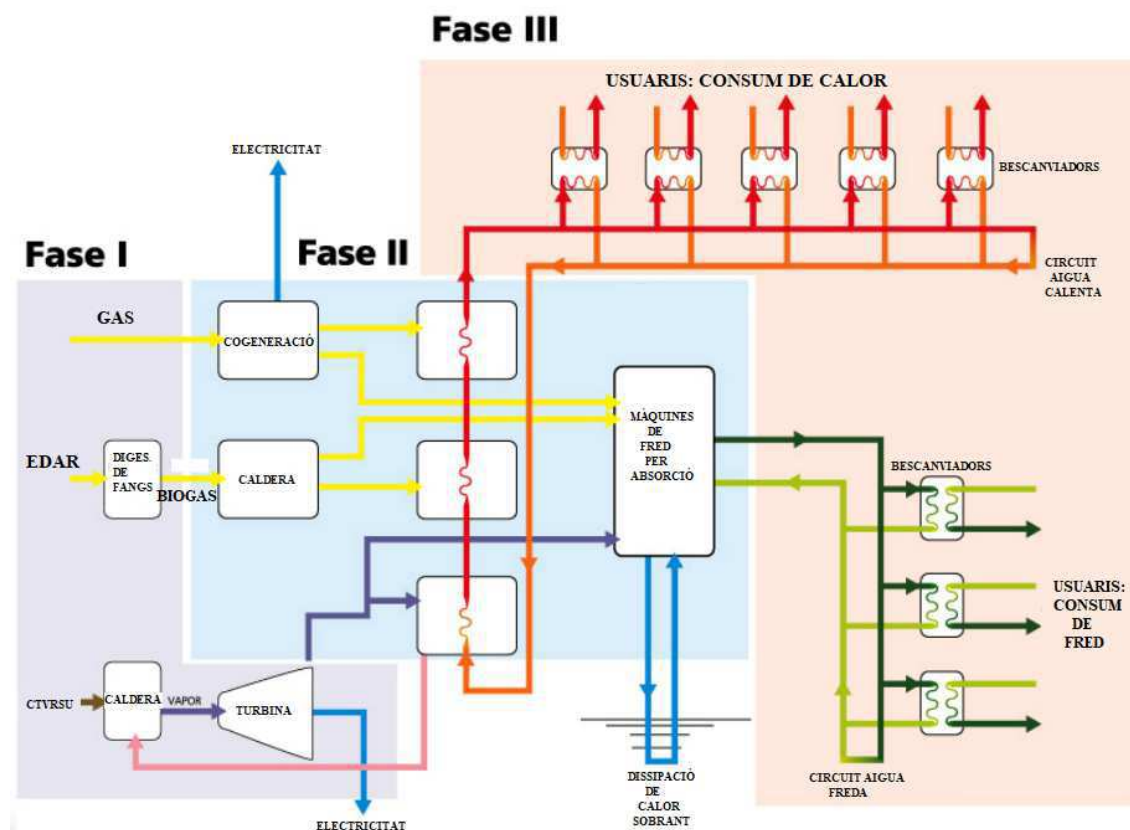


Fig. 4.2 - Fases del Tub Verd. Font: Mataró Energia Sostenible (MES).

#### 4.1.3. Resultats actuals.

El Tub Verd subministra anualment 43.910.000 kWh d'energia tèrmica, equivalent al consum anual de 7.000 famílies. Redueix les emissions de CO<sub>2</sub> en 16.800 t/any. Genera un estalvi de 243.890 kWh/any elèctrics [28]. Amb aquestes dades, es pot assegurar que el Tub Verd és una solució energètica que respecta el medi ambient i minimitza les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

## 4.2. Cèl·lules termoelèctriques.

Les cèl·lules termoelèctriques, també anomenades cèl·lules Peltier, són dispositius que consisteixen en un array de semiconductors tipus p, que són els que presenten un dèficit d'electrons, i tipus n, que són els que presenten un excés d'electrons. Aquests semiconductors (SM) estan connectats elèctricament en sèrie, i tèrmicament en paral·lel. L'array de SM s'aïlla elèctricament de l'exterior per a dos plaques de ceràmica, el qual és un material amb una conducció tèrmica molt elevada, cobrint cada cara tèrmica del dispositiu [13]. Aquest muntatge es pot observar a la Fig.4.3.

Per a la construcció d'aquestes cèl·lules, s'utilitza principalment Bismut-Telur per al material dels semiconductors, fortament dopat pel tipus n i dèbilment dopat pel tipus p [32].

Aquests dispositius poden treballar tant en efecte Peltier (generadors tèrmics ó TEC), com en efecte Seebeck (generadors termoelèctrics ó TEG), encara que els fabricants dissenyen específicament pel seu ús específic. Presenten avantatges tals com multitud d'aplicacions, no tenen manteniment, la seva vida útil és molt llarga, són silenciosos, són modulars fàcilment acoblables, entre d'altres.

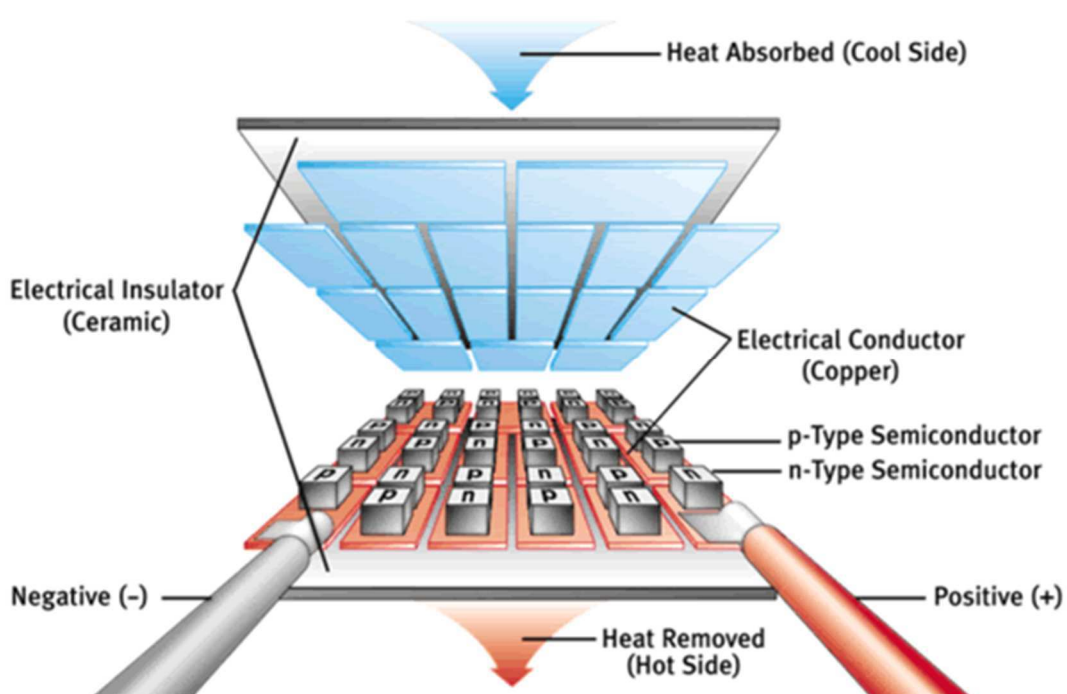


Fig. 4.3 - Estructura de muntatge per cèl·lula termoelèctrica. Font: nergiza.com

Com a terme general, i funcionant tant com a escalfadors/refredadors ó com a generadors elèctrics, existeixen bàsicament dos paràmetres genèrics a tenir en compte en una cèl·lula termoelèctrica:

- El *Coefficient of Performance*, coeficient de rendiment ó COP. El COP respon a la quantitat de calor bombejada o de traspàs  $Q$ , dividida entre la energia elèctrica subministrada  $P_{in}$ . Expressa quantes unitats de calor de traspàs s'obtidran per cada unitat d'energia elèctrica que es subministri [33]. Tal com es veu a (4.1).

$$COP = \frac{Q}{P_{in}} \quad (4.1)$$

En general, el coeficient de rendiment, es troba entre 0,4 i 0,7 per aplicacions d'una sola etapa. No obstant això, es poden aconseguir COP més alts amb mòduls termoelèctrics optimitzats i personalitzats.

- La Figura de Mèrit ó Z. Aquest paràmetre és influència únicament de característiques del semiconductors, i afecta directament al rendiment de la cèl·lula termoelèctrica. La Z relaciona la conductivitat elèctrica  $\sigma$ , amb el coeficient de Seebeck  $\alpha$  i amb la conductivitat tèrmica  $k$  [34]. És pot observar l'expressió (4.2).

$$Z = \frac{\sigma \alpha^2}{k} \quad (4.2)$$

És més comú expressar aquest paràmetre multiplicat per la mitjana de la temperatura [35], com es veu a (4.3).

$$ZT = \frac{\sigma \alpha^2}{k} \frac{(T_h - T_c)}{2} \quad (4.3)$$

Valors de  $ZT=1$  es consideren bons, de  $ZT= 3$  ó  $4$  són valors essencials perquè la termoelectricitat sigui un competidor de la generació mecànica i la refrigeració en eficiència [36].

Actualment, hi ha una tendència a la millora de ZT amb nous materials i nous semiconductors anomenats *Skutterudites*.

Les cèl·lules termoelèctriques, com ja s'ha mencionat, poden tenir infinitat d'aplicacions. Seguidament, es mostren algunes de típiques:

- Deshumidificadors.
- Petits refrigeradors, com poden ser neveres petites.
- Refrigeració de làsers quirúrgics.
- Generadors d'energia elèctrica per a dispositius de baix consum.
- Refrigeració en circuits o dispositius electrònics.
- Entre molts d'altres.

A continuació, es pot observar els principis de funcionament de les cèl·lules termoelèctriques com a mode de treball Seebeck o Peltier.

#### **4.2.1. Cèl·lula termoelèctrica com escalfador/refredador.**

Quan una cèl·lula termoelèctrica s'utilitza per escalfar o refredar (Thermoelectric Cooler - TEC), el calor absorbit de la part freda es traspasa a la cara calenta, on es dissipa aquest calor, en una taxa proporcional al corrent que circula pel circuit i el nombre de parells de semiconductors existents a la cèl·lula.

Quan la cèl·lula funciona com a refredador, la part calenta resta connectada a un dissipador de calor, i amb l'aplicació de corrent contínua en el sentit adequat, la cara freda absorbeix calor per a traspasar-ho a la cara calenta on el dissipador ho subministrarà al ambient. Si treballa com a escalfador, el sentit del corrent ha d'ésser invers, i l'intercanvi de temperatura es realitza d'una cara freda, on hi ha una font de fred forçada (una de les fonts més utilitzades és una placa d'alumini), a una cara calenta, on es sol instal·lar un ventilador per a dissipar el calor per l'ambient.

El moviment d'electrons és contrari al sentit del corrent, per tant, quant el corrent passa d'un element dopat n a un element dopat p, els electrons van del p al n i la unió del p-n absorbeix el calor (cara freda).

Tanmateix, quant el corrent va del dopat p al dopat n, els electrons van del n al p, i la seva unió desprèn calor (cara calenta) [12]. Aquesta explicació es pot veure a la Fig. 4.4.

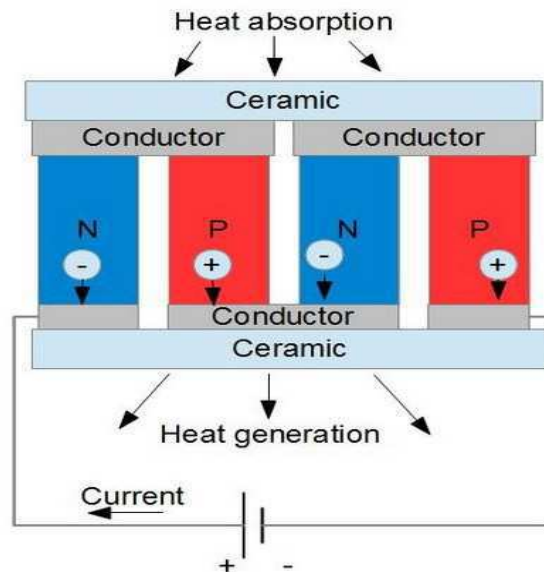


Fig. 4.4 - Esquema exemple d'una cèl·lula termoelèctrica en mode refredador. Font: ScienceProg.

Les TEC, són les més utilitzades en el mercat, degut al seu baix preu, i el seu gran camp d'aplicació, com per exemple el refredament a temperatura ambient, que és molt utilitzat [34].

Les característiques importants per a escollir TEC, són:

- **Q<sub>max</sub>**: La quantitat de calor que un TEC pot eliminar a diferència de temperatura de zero graus Celsius, quan el costat calent dels elements dins del mòdul termoelèctric es troba a 300 K.
- **I<sub>max</sub>**: És el corrent que produeix la màxima diferència de temperatura entre cares, quan la part calenta del TEC està a 300 K.
- **V<sub>max</sub>**: És el voltatge que produeix el màxim corrent que produeix la màxima diferència de temperatura entre cares, quan la part calenta del TEC està a 300 K.
- **DT<sub>max</sub>**: La diferència màxima de temperatura obtinguda entre el costat fred i calent del TEC quan s'aplica I<sub>max</sub> i no hi ha càrrega de calor aplicada al mòdul. Aquest paràmetre es basa en que el costat calent es troba a 300 K. En realitat, és pràcticament impossible eliminar totes les fonts de calor per aconseguir la veritable DT<sub>max</sub>. Per

tant, el número només funciona com a indicador estàndard de la capacitat de refrigeració d'un mòdul termoelèctric.

Un exemple de TEC, es pot trobar al fabricant TE Technology INC. Per exemple una cèl·lula termoelèctrica refrigeradora de model **HP-127-1.4-1.5-74**, com es pot veure a la Fig.4.5.

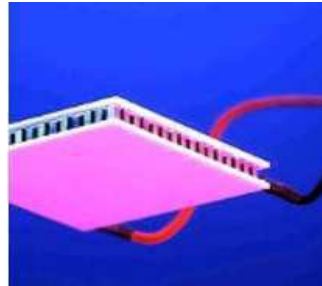


Fig. 4.5 - TEC model HP-127-1.4-1.5-74. Font: TE Technology INC.

Les característiques del model d'exemple són:

- $Q_{max}$  (W) = 65,0 W a 27°C cara calenta / 71,3 W a 50°C cara calenta.
- $I_{max}$  (A) = 6,3 A a 27°C cara calenta / 6,3 A a 50°C cara calenta.
- $V_{max}$  (V) = 16,7 V a 27°C cara calenta / 18,5 V a 50°C cara calenta.
- $DT_{max}$  (°C) = 74°C a 27°C cara calenta / 84°C a 50°C cara calenta.

El full de característiques d'aquest TEC, amb les gràfiques de comportament, juntament amb una explicació d'interpretació de les gràfiques, es pot trobar a l'ANNEX 1 de l'avantprojecte.

#### **4.2.2. Cèl·lula termoelèctrica com a generador.**

Dos objectes a diferents temperatures posats en contacte intercanvien energia en un intent d'establir equilibri tèrmic. Qualsevol treball realitzat durant aquest procés, és la diferència de calor perduda per un objecte i guanyat per un altre objecte. Aquesta és la primera Llei de la Termodinàmica, en altres paraules, l'energia sempre es conserva.

Quant una cèl·lula termoelèctrica s'utilitza com a generador (Thermoelectric Generator - TEG), s'aplica una font de calor a la cara calenta del TEG. La font de calor condueix

electrons en l'element tipus-n, cap a la regió més freda, deixant “forats” en aquesta transició i fent que més electrons vulguin omplir aquests “forats” de l'element dopat p cap al n. Aquesta circulació d'electrons entre elements tipus n i p, fa que el TEG quedi polaritzat amb càrrega positiva i negativa al altre extrem, provocant així una diferència de potencial en els extrems del TEG. Tal com es veu a la Fig. 4.6.

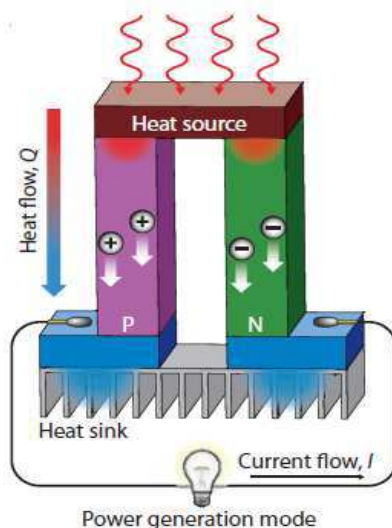


Fig. 4.6 - Esquema exemple de funcionament d'un TEG. Font: OTE Materials.

A l'hora d'escollir TEG per una aplicació, a part de considerar les condicions de contorn a les que estarà exposada la cèl·lula, com per exemple la temperatura màxima que suportarà, s'ha de tenir present alguns paràmetres importants, com poden ser:

- VOC: Tensió de sortida en circuit obert. S'ha de tenir en compte que disminuirà considerablement al connectar-li una càrrega.
- Resistència interna: Serà la resistència que oferirà el TEG al pas del corrent elèctric en circuit tancat. Aquesta resistència canviarà en funció de la temperatura d'intercanvi i de l'efecte Joule.
- I<sub>out</sub> màxima: La corrent de sortida màxima que permet el TEG.
- P<sub>out</sub> màxima: La potència màxima de sortida que permet el TEG.

Un exemple de TEG, es pot trobar a la marca comercial TEGPro, com per exemple el model **TE-MOD-22W7V-56**, com es pot veure a la Fig.4.7.



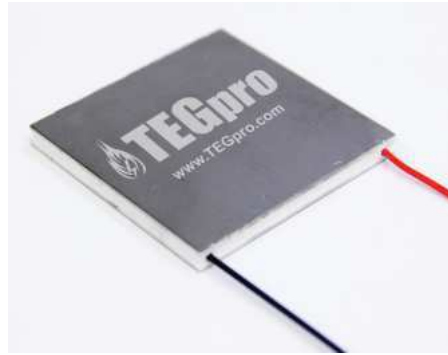


Fig. 4.7 - TEG model TE-MOD-22W7V-56. Font: TEGPro.

Les característiques del model d'exemple són:

- $VOC (V) = 14,4 V$ .
- $R (\Omega) = 2,4 \Omega$ .
- $I_{out} (A) = 3 A$ .
- $P_{out} (W) = 21,6 W$ .

El rendiment en els TEG també és un paràmetre molt important, ja que indica la relació entre la potència calorífica absorbida i la potència de sortida. Aquest paràmetre sol ser bastant baix, del ordre del 5% al 10%. El full de característiques d'aquest TEG, amb les gràfiques de comportament, es pot trobar a l'ANNEX 2 de l'avantprojecte.

#### 4.2.3. Model elèctric d'un TEG.

A manera de modelitzar un TEG de manera simple, aquesta cèl·lula es pot convertir en un equivalent de Thevenin, on la tensió de Thevenin és la tensió de Seebeck, i on l'equivalent tindrà un valor de resistència interna del TEG [34]. Es pot veure a la Fig.4.8.

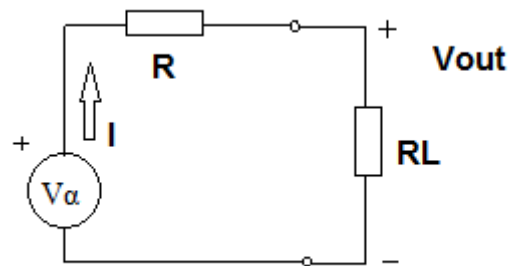


Fig. 4.8 - Equivalent de Thevenin d'un TEG.

Simplificant d'aquesta manera, el càlcul de la tensió de sortida del TEG, es pot veure a (4.4).

$$V_{out} = \alpha \Delta T - I R \quad (4.4)$$

La tensió de sortida  $V_{out}$ , és la tensió de Seebeck ( $\alpha \Delta T$ ) menys les pèrdues degudes a la resistència interna del TEG ( $I R$ ).

#### 4.2.4. Anàlisi i selecció de TEG pel projecte.

Els tipus de TEG que s'ha utilitzat és molt important, ja que és la base de la motivació del projecte. Com ja s'ha exposat prèviament, les característiques més importants a l'hora de seleccionar un TEG, són el voltatge en circuit obert (VOC), la resistència interna que ofereix el TEG al pas del corrent elèctric ( $R_i$ ), la intensitat de sortida amb una càrrega òptima ( $I_o$ ) i la potència de sortida amb la mateixa càrrega òptima ( $P_o$ ). S'ha realitzat ús d'aquesta mateixa línia d'argumentació per analitzar els propers 3 TEG de marques conegudes.

El primer TEG és de la marca Kryotherm amb referència TGM-127-2.0-1.3. El segon TEG és de la marca TEGpro amb referència TGPR-22W-7V-56S. El tercer i últim TEG respon a la marca Marlow amb referència TG12-8-01LS. Es pot observar l'aspecte físic de cadascun dels tres dispositius comentats a la Fig. 4.9.

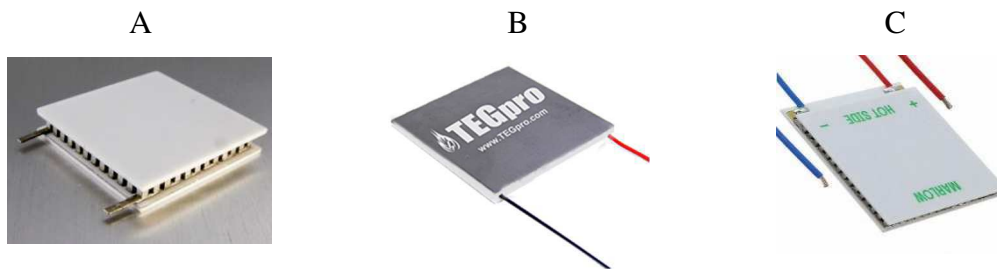


Fig. 4.9 - Relació dels diferents dispositius TEG analitzats: **A.-** Kryotherm TGM-127-2.0-1.3. **B.-** TEGpro TGPR-22W-7V-56S. **C.-** Marlow TG12-8-01LS.

Seguidament, es mostra els paràmetres dels tres models per fer la selecció, tal com es veu a la Taula 4.1. Aquest paràmetres s’han extret de les gràfiques de comportament de dispositius, que es poden veure en l’ANNEX 8 de l’avantprojecte. El comportament particular del projecte, és considerat com a temperatura calenta ( $T_h$ ) de 85 °C, i temperatura cara freda ( $T_c$ ) de 30 °C, ja que són valors aproximats a la realitat del entorn del Tub Verd.

	TGM-127-2,0-1,3	TGPR-22W-7V-56S	TG12-8-01LS
<b>Voltatge circuit obert (VOC) [V]</b>	≈ 2,1	≈ 2,5	3,27 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Voltatge amb càrrega [V]</b>	≈ 1	≈ 1,2	1,86 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Corrent amb càrrega [A]</b>	≈ 1,6	≈ 0,7	1,48 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Potència amb càrrega [W]</b>	≈ 1,7	≈ 1,1	1,19 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Resistència interna a <math>T_h=85^\circ\text{C}</math>, <math>T_c=30^\circ\text{C}</math> [<math>\Omega</math>]</b>	≈ 0,62	≈ 1,8	2,9 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Ample [mm]</b>	48	56	40
<b>Llarg [mm]</b>	48	56	40
<b>Profund [mm]</b>	3,6	5	3,5
<b>Preu [€]</b>	45,43	57,5	11,6

Taula 4.1 - Taula anàlisi TEGs.

Finalment, s'ha seleccionat per utilitzar el model **TGPR-22W-7V-56S** de TEGpro, degut a que el seu voltatge amb càrrega combinada és el més elevat, juntament amb la seva potència en condicions òptimes que assoleix 22 W, i a nivell d'informació, és una marca molt reconeguda.

El model de Marlow s'ha descartat per a no disposar d'especificacions en temperatures a les quals engloben el projecte.

El model de Kryotherm s'ha descartat, tot i ser millor en alguns paràmetres com per exemple la potència amb càrrega, per mostrar una fabricació de qualitat dubtosa i forta presència de falsificacions de producció a Internet. Com es pot observar, s'ha valorat molt, la fiabilitat del producte.

### **4.3. Tipus de comunicació *wireless*.**

El tipus de comunicació *wireless* que s'ha utilitzat pel disseny de la *wireless sensor network* ó WSN, defineix la metodologia de transmetre la informació, la topologia de sensors, i la viabilitat del projecte. Respon per tant, a un element de selecció que determina tots els elements de la solució del sistema.

És essencial que el tipus de comunicació sigui de baix consum, degut a la importància per la caracterització del projecte. Les xarxes *wireless* de baix consum més utilitzades a l'actualitat en el món IoT, són SigFox i LoRaWAN, caracteritzades com dues *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), i una tercera que s'anomena ZigBee, classificada com una *Wireless Personal Area Network* (WPAN).

El tipus de comunicació *wireless* per la qual s'ha optat per la realització del projecte, és **SigFox**. Per a contextualitzar-la davant els altres tipus de comunicació *wireless*, es mostra una taula comparativa amb les principals característiques que s'han tingut en compte del sistema. La informació es pot consultar a la Taula 4.2.

	Xbee	LoRaWAN	SigFox
<b>Abast comunicació [km]</b>	1,2	2 a 5	3 a 10
<b>Freqüència</b>	2,4 [GHz]	868 [MHz]	868 [MHz]
<b>Topologia</b>	Mesh Estrella P2P Arbre	Mesh Estrella P2P	Mesh Estrella P2P
<b>Consum [mA]</b>	33 / 28	38,9	51

Taula 4.2 - Comparativa dels 3 mètodes de comunicació.

SigFox, empresa creada al 2.010, té com a objectiu de comunicar tots el objectes del món en un futur pròxim, aproximant l'ideal de IoT. SigFox crea una xarxa independent de radiofreqüència amb el seu nom, on per connectar-se és necessari hardware compatible amb el tipus de comunicació [37]. Per fer possible aquest fet, treballa amb fabricants com Texas Instruments i Atmel, entre d'altres.

Dissenyada per IoT, la xarxa SigFox transmet missatges de 12 bytes, amb la capacitat d'enviar 140 missatges per dia. A més, ofereix un API i un CLOUD SigFox com a interfície d'aplicació web per la gestió de dispositius i de dades. L'enllaç de radio utilitza bandes de ISM sense llicència, on les freqüències exactes poden variar segons les regulacions nacionals, però a Europa la banda és de 868 MHz [38]. L'abast d'aquesta comunicació per ràdio pot ser de 30-50 km en zones rurals, a 3-10 km en zones urbanes. La topologia de les xarxes SigFox, es mostra a la Fig.4.10.



Fig. 4.10 - Topologia estàndard SigFox. Font: Libelium.

La xarxa SigFox pot ser un complement de xarxes actuals, o pot actuar de manera independent. La manera que s'ha desenvolupat al projecte, és compartint xarxa amb operadors privats distribuïdors de SigFox. La xarxa està en continua expansió, es pot veure la cobertura mundial a la Fig.4.11, i la cobertura on es desenvoluparà el projecte, concretament a Mataró, a la Fig.4.12.

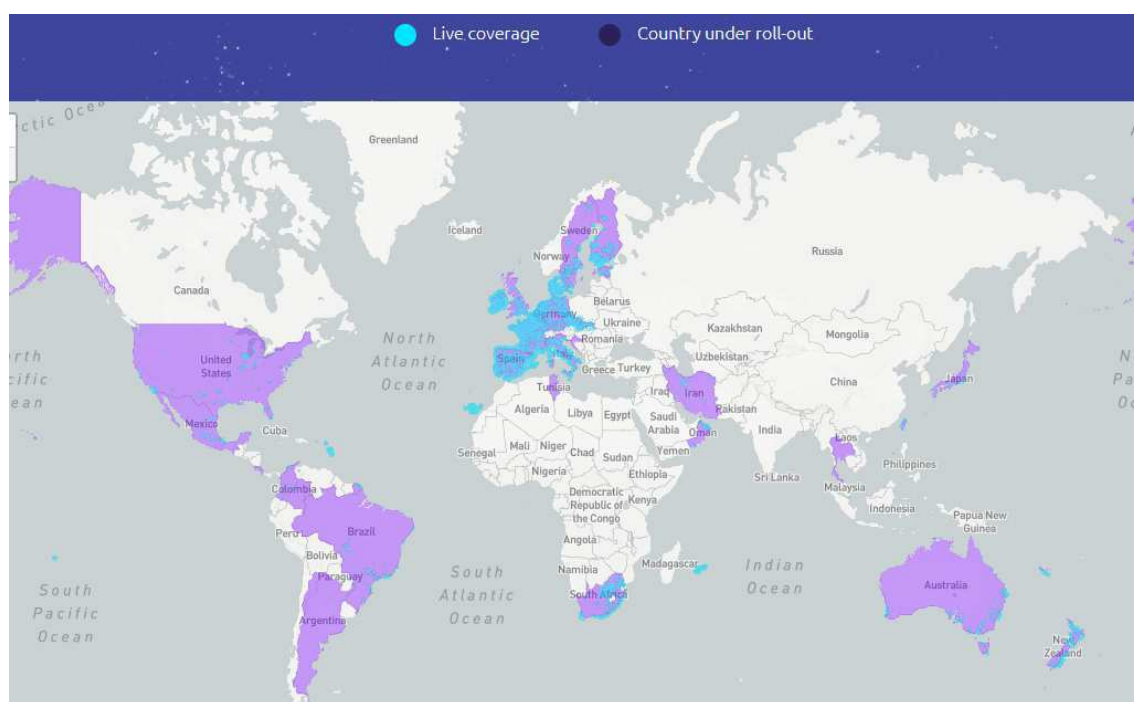


Fig. 4.11 - Cobertura SigFox mundial. Font: [www.sigfox.com](http://www.sigfox.com).



Fig. 4.12 - Cobertura SigFox a Espanya. Font: [www.sigfox.com](http://www.sigfox.com).





## 5. Desenvolupament de la solució.

### 5.1. Metodologia.

El procés per arribar a la finalització de l'estudi, i a la solució al problema plantejat ha estat el següent:

S'ha realitzat una recerca en profunditat de conceptes relacionats amb l'EH, profunditzant en l'efecte termoelèctric. Aquesta primera cerca d'informació ha servit per contextualitzar i situar la memòria cap als objectius que s'han definit, en forma d'introducció. S'han aproximat també, conceptes de transferència tèrmica i s'han exposat projectes existents d'empreses, el model de negoci de les quals és l'efecte termoelèctric.

Aquesta primera informació, ha permès enfocar les necessitats d'informació de detall per al desenvolupament de la solució del projecte. S'han definit els objectius i s'han desenvolupat les característiques de les especificacions tècniques que compleixen els objectius especificats. Mitjançant l'eina QFD, s'ha definit quines són les especificacions tècniques que més valor donen al client.

La profunda definició dels punts anteriors, ha servit per realitzar una nova extracció d'informació, molt més concreta i orientada, per a definir el marc conceptual del projecte.

Amb una presentació d'informació completa, s'ha detallat tots els elements que intervenen a la solució, així com els mètodes d'interacció entre ells, els càlculs necessaris per l'estudi i la demostració de la viabilitat del projecte, i finalment, s'ha descrit el funcionament del conjunt.

Per tal de definir una planificació de les activitats del projecte, s'han creat dos planificacions amb el programa *MS-Project*, la del projecte de disseny, que implica a l'empresa desenvolupadora del projecte, i la del projecte d'implementació, que engloba a l'empresa responsable d'implementar el projecte. A la planificació del projecte d'implementació, s'han considerat els diferents treballadors necessaris per a poder finalitzar la implementació. Es remarca, que l'empresa dissenyadora no s'encarrega d'aquesta etapa. La planificació

d'implementació s'ha creat perquè el client pugui tenir una idea del temps necessari per aquesta fase i així tenir una visió global de la planificació del projecte.

S'ha realitzat un anàlisi de les desviacions de planificació respecte la planificació de l'avantprojecte.

Després del anàlisi de planificació, s'ha realitzat un estudi i informe d'impacte mediambiental del projecte, mitjançant les llistes de control.

Al final del projecte s'ha realitzat el seu tancament, el qual es pot trobar a l'ANNEX 1 de la memòria, tenint en compte les desviacions en la planificació i en el pressupost. S'han extret conclusions, s'han valorat els punts forts i febles del projecte i s'han considerat les possibles millores per aquests tipus de projecte.

En un document diferent a la memòria, concretament a l'estudi econòmic, s'ha realitzat la justificació de la viabilitat del projecte des del punt de vista econòmic. Per realitzar-la, s'han utilitzat indicadors com el VAN i la TIR.

## **5.2. Descripció d'elements.**

El muntatge de la solució, consta de varis elements que treballen com a una unitat. Per a nombrar el conjunt d'elements, s'ha utilitzat el nom d'unitat d'adquisició de dades ó unitat DAQ.

Per generar una idea global abans del detall, s'ha dividit la unitat DAQ en diferents fases conceptuals, i s'ha detallat els elements que intervenen a cada divisió, tal com es pot veure a la Fig.5.1.

Per detallar la solució de l'aprofitament de l'energia tèrmica residual per tenir un major control de la eficiència del Tub Verd, s'ha especificat el detall de tots els elements que intervenen a la unitat DAQ.

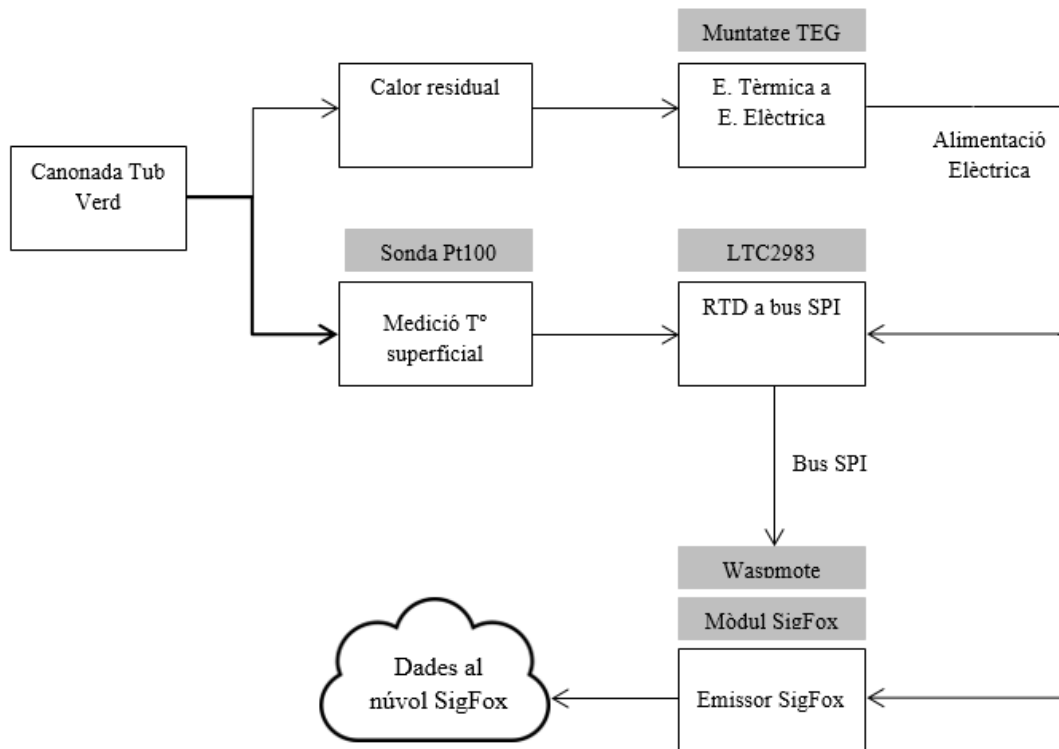


Fig. 5.1 - Unitat DAQ dividida en conceptes.

### 5.2.1. TEG.

Un TEG és una cèl·lula termoelèctrica construïda específicament per a transformar l'energia tèrmica en energia elèctrica. És per aquest motiu, que aquest element és l'element principal de l'estudi que s'ha realitzat.

S'ha utilitzat el model **TGPR-22W-7V-56S** de TEGpro, pel motiu que en apartats previs s'ha mostrat, ja que s'ha ajustat a la solució de la present memòria. La imatge del model TEG i la taula amb les característiques genèriques a condicions de projecte, es mostren a la Fig.5.2 i Taula 5.1, respectivament. Per una ampliació de les característiques tècniques, es pot consultar l'ANNEX 2 de l'avantprojecte.

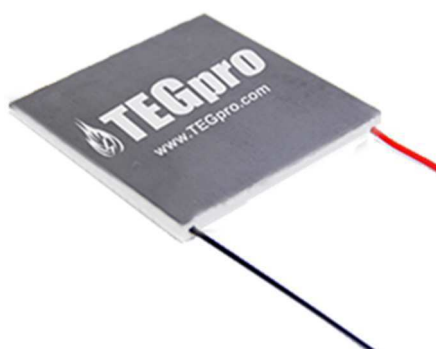


Fig. 5.2 - TEGpro TGPR-22W-7V-56S.

	<b>TGPR-22W-7V-56S</b>
<b>Voltatge circuit obert (VOC) [V]</b>	≈ 2,2
<b>Voltatge amb càrrega [V]</b>	≈ 0,9
<b>Corrent amb càrrega [A]</b>	≈ 0,4
<b>Potència amb càrrega [W]</b>	≈ 0,5
<b>Resistència interna a Th=70°C, Tc=30°C [Ω]</b>	≈ 1,75
<b>Ample [mm]</b>	56
<b>Llarg [mm]</b>	56
<b>Profund [mm]</b>	5
<b>Preu [€]</b>	57,5

Taula 5.1 – Característiques de projecte del TEG seleccionat.

Els TEG que s'han utilitzat al projecte, tenen l'objectiu d'alimentar elèctricament tot el conjunt de la solució proposada. Per assolir aquest objectiu, s'han fet servir varis TEG de TEGPro, muntats elèctricament en sèrie i paral·lel, i tèrmicament en paral·lel. El càlcul específic del numero de TEG que s'han utilitzat, i el detall de les seves connexions s'especifica més endavant.

El muntatge dels TEG ocupa la part inicial de tota la solució. S'han col·locat sobre una superfície d'alumini, que té una conducció tèrmica molt favorable, la qual abraça un tram nu de canonada d'acer del Tub Verd.

L'energia tèrmica residual de la superfície de la canonada es transportada per conducció tèrmica fins a la cara calenta dels TEG, on es transforma en energia elèctrica gràcies al efecte Seebeck.

L'energia elèctrica generada per la bateria de TEGs, alimenta elèctricament l'emissor de dades SigFox i el digitalitzador de la temperatura superficial de la canonada que s'han utilitzat al projecte.

### **5.2.2. Sonda de temperatura.**

S'ha determinat que el paràmetre a captar és la temperatura exclusivament, degut a que els sensors d'altres paràmetres, com la pressió, necessiten alimentació a 24 V en corrent continu, fet que implicaria un augment considerable del muntatge de TEGs. Per tant, el paràmetre de lectura del sistema és la temperatura de la canonada, que es pot aconseguir amb un sensor passiu, concretament amb una RTD (*Resistance Temperature Detector*) tipus Pt100.

Les sondes Pt100 són resistències variables passives, amb un comportament lineal, que varien la seva resistència en funció de la temperatura a la qual són exposades. S'anomenen Pt perquè són construïdes amb Platí, i 100 perquè el valor òhmic a 0 °C és 100 Ohms.

La sonda de temperatura Pt100 del fabricant Remberg, ofereix una adquisició de la temperatura superficial de la canonada, evitant així cap modificació mecànica de les canonades del Tub Verd, i així saber la temperatura del líquid en circulació degut a la transferència d'energia tèrmica per conducció.

Per el disseny de la solució, s'ha utilitzat la sonda Pt100 de Remberg, model **Pt-S12D6-10M**, que treballa en un rang de temperatures de -50 °C a 250 °C, suficient pel Tub Verd. Té una longitud de cable de 10 metres, utilitzables per col·locar la sonda al punt d'adquisició de temperatura, i transmetre la variació de la resistència al mòdul convertidor o digitalitzador, per la seguida emissió de la informació mitjançant SigFox. El model de Pt100

es pot veure a la Fig.5.3, i les dades amb més detall es poden consultar a l'ANNEX 8 de l'avantprojecte.

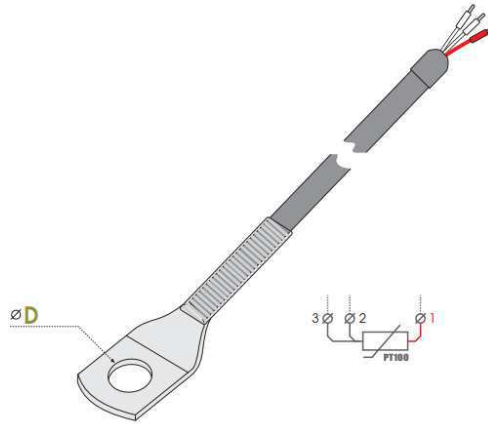


Fig. 5.3 - Sonda Pt100 de Remberg, model Pt-S12D6-10M. Font: [www.linkersystem.com](http://www.linkersystem.com).

La posició on s'ha col·locat la sonda Pt100 que s'ha utilitzat, és mecanitzada directament a la superfície de la canonada del Tub Verd, obtenint així una lectura vàlida per mitjà de contacte físic, ja que aquest model de sonda ho permet.

### 5.2.3. Convertidor de senyal de temperatura.

La lectura de la temperatura s'ha realitzat amb una sonda Pt100, que és una RTD, per tant el valor de la temperatura superficial de la canonada s'obté en funció del valor òhmic que aporta la Pt100. Com és d'esperar, la lectura que l'usuari intèrpret és en graus Celsius, no en Ohms, per tant, s'ha incorporat un dispositiu que interpreti i transformi la lectura òhmica en informació interpretable.

L'element utilitzat és el **LTC2983** del fabricant Linear Technology. És una placa electrònica, com es pot veure a la Fig.5.4, amb capacitat per a digitalitzar la temperatura d'una gran varietat de sensors, com per exemple tipus termoparell o RTD, a un bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Concretament, s'ha utilitzat la possibilitat que entrega per a la lectura de la sonda Pt100 a 3 fils.



Fig. 5.4 - LTC2983 de Linear Technology. Font: experimentalavionics.com.

El LTC2983, permet una alimentació en corrent continu d'un rang entre 2,85 i 5,25 V, característica que s'ha ajustat perfectament a l'alimentació elèctrica subministrada pel muntatge TEG, a més té un consum molt reduït, específicament de 20 mA d'intensitat màxima [39]. Per l'ampliació de les característiques tècniques del element, es pot consulta l'ANNEX 8 de l'avantprojecte. Es mostra un diagrama de funcionament de la placa LTC2983 a la Fig.5.5.

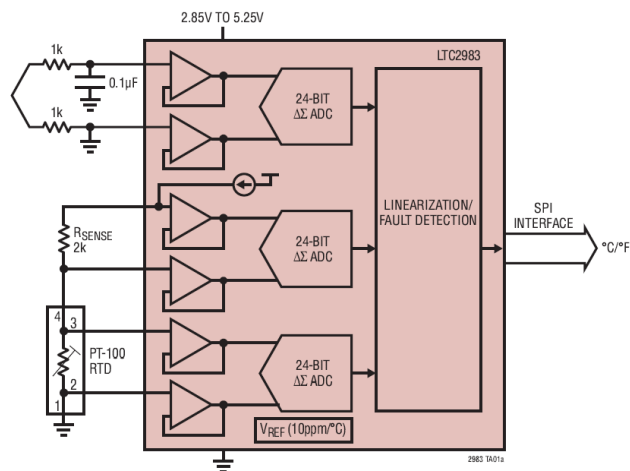


Fig. 5.5 - Diagrama del LTC2983.

#### 5.2.4. Emissor de dades SigFox.

Per a consultar la temperatura superficial de les canonades del Tub Verd des de la central, les dades s'envien sense cables per mitjà de la comunicació SigFox, on s'emmagatzemen al *cloud*, i es possibilita la seva visualització.

Per a realitzar l'enviament, cal un o varis elements que facin de passarel·la entre la informació que es transfereix del bus SPI a SigFox. Aquesta etapa de la solució consta de tres elements diferenciats: El Wasmote, el mòdul de SigFox compatible amb Wasmote i la antena dual de la banda ISM.

S'ha utilitzat el mòdul hardware **Wasmote** de Libelium, que presenta un consum màxim de 17 mA i un voltatge d'entrada de corrent continu de 3,3 V a 4,2 V, a més de subministrar 8 entrades/sortides digitals, 7 entrades analògiques i un port SPI (*Serial Peripheral Interface*), suficient per a recollir i processar la informació que es transmet del LTC2983. Wasmote es pot veure a la Fig.5.6.



Fig. 5.6 - Wasmote de Libelium. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).

S'ha afegit al Wasmote, el mòdul de comunicació SigFox, que es pot veure a la Fig.5.7. El mòdul de comunicació és totalment compatible amb la placa de Wasmote, ja que també es fabrica per Libelium. Aquest accessori té un consum màxim de 51 mA, el qual s'ha de sumar als 17 mA del Wasmote, per tant el consum total màxim de l'etapa és de 68 mA.

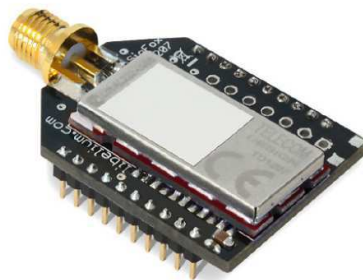


Fig. 5.7 - Mòdul SigFox de Libelium. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).



Amb aquesta unió dels dos elements, s'ha aconseguit el processament de la temperatura enviada pel bus SPI, amb el posterior enviament de les dades per comunicació *wireless* amb protocol SigFox.

L'element secundari que s'ha necessitat és una antena dual de banda ISM, per a l'emissió de les dades cap al receptor més proper de SigFox. El muntatge sencer ha donat la possibilitat de connectar-se i rebre dades del sensor, i poder-ho enviar per la comunicació *wireless* que s'ha utilitzat. El muntatge d'aquesta etapa es pot veure a la Fig.5.8.



Fig. 5.8 - Waspmote amb mòdul SigFox. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).

Les dades dels dos elements principals poden ser consultades a l'ANNEX 8 de l'avantprojecte.

### **5.3. Dimensionat de l'etapa d'adquisició d'energia.**

S'han diferenciat dos tipus de dimensionats: el tèrmic i l'elèctric. El dimensionat tèrmic del sistema s'ha calculat per a conèixer el potencial de conducció tèrmica que té la canonada del Tub Verd. El dimensionat elèctric, s'ha calculat per a saber la quantitat de TEGs necessària per a que el sistema sigui viable.

### **5.3.1. Dimensionat tèrmic.**

El dimensionat tèrmic s'ha utilitzat per a conèixer la temperatura real aproximada que té la cara calenta del muntatge TEG, i així s'ha conegut la pèrdua de temperatura que hi ha per conducció al llarg de tot l'eix radial de la canonada i de l'acoblament d'alumini. El procediment per a realitzar-lo ha estat assolir l'energia tèrmica que se li subministra al circuit tancat el Tub Verd, amb el posterior càlcul de la caiguda de temperatura deguda al gruix de la canonada, i després la que hi ha hagut amb el gruix de l'acoblament d'alumini.

Per al dimensionat tèrmic és essencial conèixer quin tipus de canonada es va utilitzar. El Tub Verd va utilitzar canonades del fabricant LOGSTOR per la distribució del seu servei.

Segons el catàleg del fabricant LOGSTOR, la canonada que s'ha utilitzat per al dimensionat tèrmic és una DN250 d'acer, que té com a diàmetre exterior 273 mm i un grossor de 5 mm d'acer [40]. A la Fig.5.9 es pot observar les característiques de la canonada.

Per obtenir resultats del dimensionat tèrmic, s'ha necessitat estimar el cabal màxim d'aigua que circula pel circuit tancat. S'ha considerat que per canonades DN250, la màxima velocitat possible sense tenir problemes de pèrdues de càrrega al circuit és de 3 m/s, que equival a un cabal d'H<sub>2</sub>O de 530 m<sup>3</sup>/h.

Steel pipe			Outer casing		6 m pipe	12 m pipe	16 m pipe	Pipe Weight kg/m	Water content l/m
ø nom. mm	ø out. mm	Wall thick. mm	ø out. mm	Wall thick. mm					
20	26.9	2.6	90	3.0	x	x		2.9	0.4
25	33.7	2.6	90	3.0	x	x		3.3	0.6
32	42.4	2.6	110	3.0	x	x		4.2	1.1
40	48.3	2.6	110	3.0	x	x		4.6	1.5
50	60.3	2.9	125	3.0	x	x		6.1	2.3
65	76.1	2.9	140	3.0	x	x		7.5	3.9
80	88.9	3.2	160	3.0	x	x		9.4	5.3
100	114.3	3.6	200	3.2	x	x	x	14	9.0
125	139.7	3.6	225	3.4	x	x	x	16	14
150	168.3	4.0	250	3.6	x	x	x	21	20
200	219.1	4.5	315	4.1	x	x	x	31	35
250	273	5.0	400	4.8	x	x	x	45	54
300	323.9	5.6	450	5.2		x	x	58	77
350	355.6	5.6	500	5.6		x	x	66	93
400	406.4	6.3	560	5.7		x	x	81	120
450	457	6.3	630	6.0		x	x	93	160
500	508	6.3	710	6.6		x	x	108	190
600	610	7.1	800	7.8		x	x	142	280
700	711	8.0	900	8.7		x	x	180	380
800	813	8.8	1000	9.4		x	x	230	500
900	914	10.0	1100	10.2		x	x	280	630
1000	1016	11.0	1200	11.0		x	x	340	780
1100	1118	11.0	1300	11.8		x	x	378	943
1200	1219	12.5	1400	12.5		x	x	460	1120

Fig. 5.9 - Informació de catàleg LOGSTOR, característiques de canonades.

Per raons de càlcul, s'ha necessitat el cabal màssic en comptes del volumètric. Així doncs, considerant que la densitat de l'H<sub>2</sub>O és de 1.000 kg/m<sup>3</sup>, s'obté un cabal màssic de 530.000 kg/h ó 147,22 kg/s.

Com s'ha exposat en apartats anteriors de la memòria, el circuit tancat del Tub Verd té una temperatura d'impulsió d'un rang de 85-90 °C, i una temperatura de retorn d'un rang de 55-60 °C. És assumible que aquest increment de temperatura del fluid, és resultat de l'aplicació d'energia tèrmica, i que part d'aquesta energia és la que aprofiten els mòduls TEG per a generar energia elèctrica. Per conceptes de càlcul de dimensionat, s'ha considerat la temperatura d'impulsió a 85 °C ó 358 K i la temperatura de retorn a 60 °C ó 333 K, obtenint un salt tèrmic desfavorable.

Per a calcular la calor aportada pel Tub Verd al sistema per assolir la temperatura d'impulsió, s'ha utilitzat la fórmula del calor mitjançant el calor específic [41], com es pot veure a (5.1).

$$Q = m c_p \Delta T \quad (5.1)$$

Amb les dades:

- Cabal màssic ( $m$ ) = 147,22 kg/s.
- Calor específic d'H<sub>2</sub>O ( $c_p$ ) = 4,2 kJ/kg·m [42].
- Increment de temperatura ( $\Delta T$ ) = 25 K.

S'ha calculat la quantitat de calor ( $Q$ ) que aporta el Tub Verd, com es veu a (5.2).

$$Q = 147,22 * 4,2 * 25 = 15.458,1 W \quad (5.2)$$

Una vegada s'ha calculat la potència tèrmica que subministra el Tub Verd, s'ha considerat que la temperatura d'impulsió al llarg de tot el circuit es manté constant, a més, s'ha considerat que el gradient de temperatura a l'eix radial de la canonada és menyspreable. Amb aquesta consideració, la quantitat d'energia tèrmica que aporta l'H<sub>2</sub>O de la canonada, és la mateixa que la que aplica el Tub Verd per a realitzar l'increment de temperatura entre impulsió i retorn.

Com s'ha detallat en apartats anteriors d'aquesta memòria, per a conèixer la temperatura que s'obté a la superfície de la canonada d'acer DN250, s'utilitza el mecanisme de transferència tèrmica per conducció, concretament l'anomenada llei de Fourier, que es pot veure a (2.6). S'ha utilitzat la mateixa quantitat de calor calculada a (5.2).

Amb les dades:

- Conductivitat tèrmica de l'acer ( $k$ ) = 52,5 W/m·K [43].
- Radi exterior ( $r_{ext}$ ) = 0,1365 m.
- Radi interior ( $r_{int}$ ) = 0,1315 m.
- Longitud que ocupa el tram del dispositiu ( $L$ ) = 0.13 m.
- Temperatura interior ( $T_1$ ) = 358 K.
- Temperatura de superfície d'acer ( $T_2$ ).

- Diferencial de radi ( $\Delta r$ ) = 0,005 m.

S'ha calculat la temperatura de superfície del circuit d'impulsió d'aigua calenta del Tub Verd, com es veu a (5.3) i (5.4).

$$Q = 15.458,1 \text{ W} = -52,5 * 0,1115 * \frac{T_2 - 358}{0,1365 - 0,1315} \quad (5.3)$$

$$T_2 = 344,8 \text{ K} = 71,8^\circ\text{C} \quad (5.4)$$

S'ha obtingut la temperatura de la superfície de la canonada d'acer, observant una pèrdua de temperatura de 13,2 °C.

Per obtenir la temperatura que té la cara calenta del muntatge TEG, s'ha realitzat un últim càlcul, utilitzant la llei de Fourier, considerant una capa radial més, amb una conductivitat tèrmica de material diferent. Aquest càlcul es pot veure a (5.5) i (5.6).

Amb les dades:

- Conductivitat tèrmica de l'alumini ( $k$ ) = 237 W/m·K [43].
- Radi exterior ( $r_{ext}$ ) = 0,1395 m.
- Radi interior ( $r_{int}$ ) = 0,1365 m.
- Longitud que ocupa el tram del dispositiu ( $L$ ) = 0.13 m.
- Temperatura interior ( $T_1$ ) = 344,8 K.
- Temperatura de superfície d'alumini ( $T_2$ ).
- Diferencial de radi ( $\Delta r$ ) = 0,003 m.

$$Q = 15.458,1 \text{ W} = -237 * 0,114 * \frac{T_2 - 344,8}{0,1395 - 0,1365} \quad (5.5)$$

$$T_2 = 343,08 \text{ K} = 70,8^\circ\text{C} \quad (5.6)$$

S'ha obtingut la temperatura la qual finalment està exposat la cara calenta del muntatge TEG, observant una pèrdua total de temperatura radial de 14,2 °C. El dimensionat tèrmic s'ha conclòs amb una temperatura de cara calenta de TEG de 70,8 °C, el qual s'ha tractat com a **70 °C**.

### 5.3.2. Dimensionat elèctric.

El dimensionat elèctric s'ha utilitzat per a conèixer la tensió de sortida aproximada que subministra el muntatge TEG, i així s'ha conegut la quantitat de cèl·lules a utilitzar per alimentar elèctricament la totalitat de la unitat d'adquisició DAQ.

Tant el LTC2983 com el muntatge Waspote, s'han alimentat a la mateixa tensió, per tant són dues càrregues en paral·lel, i per a ser tractades com a tal, s'ha calculat la seva resistència elèctrica amb altres paràmetres que faciliten les fulles de característiques respectives, degut a que el paràmetre de resistència elèctrica no es facilita per part de cap dels dos fabricants.

S'ha utilitzat la  $I_{MAX}$  dels dos dispositius i el seu rang de tensió admissible. Segons la Llei d'Ohm, la condició perquè circuli el màxim corrent ve donat per la menor resistència, ja que són inversament proporcionals. Per calcula la resistència mínima dels elements, utilitzant la intensitat màxima, el paràmetre de tensió ha de ser la mínima. Per tant, es mostren els paràmetres i els càlculs de cada element, com es veu a (5.7) i (5.8), segons les característiques ja mostrades:

- Tensió mínima LTC2983 ( $V_{MIN\_LTC}$ ) = 2,85 V.
- Tensió mínima Waspote ( $V_{MIN\_W}$ ) = 3,3 V.
- Intensitat màxima LTC2983 ( $I_{MAX\_LTC}$ ) = 0,02 A.
- Intensitat màxima Waspote ( $I_{MAX\_W}$ ) = 0,068 A.

$$R_{LTC} = \frac{V_{MIN\_LTC}}{I_{MAX\_LTC}} = \frac{2,85}{0,02} = 142,5 \Omega \quad (5.7)$$

$$R_W = \frac{V_{MIN\_W}}{I_{MAX\_W}} = \frac{3,3}{0,068} = 48,53 \Omega \quad (5.8)$$

Una vegada s'ha obtingut la resistència de les dues càrregues, s'ha calculat la resistència de càrrega total equivalent, com es veu a (5.9).

$$R_L = \frac{1}{\frac{1}{R_{LTC}} + \frac{1}{R_W}} = \frac{1}{\frac{1}{142,5} + \frac{1}{48,53}} = 36,2 \Omega \quad (5.9)$$

Sabent la resistència total de càrrega, resten dos paràmetres importants per a modelitzar el muntatge TEG segons un equivalent de Thevenin, que són la tensió de Thevenin i la resistència de Thevenin. La tensió de Thevenin equival a la tensió de Seebeck produïda per les cèl·lules termoelèctriques, i la resistència de Thevenin equival a la resistència elèctrica que ofereixen les cèl·lules. El circuit que s'assoleix és el que es pot veure a la Fig.5.10.

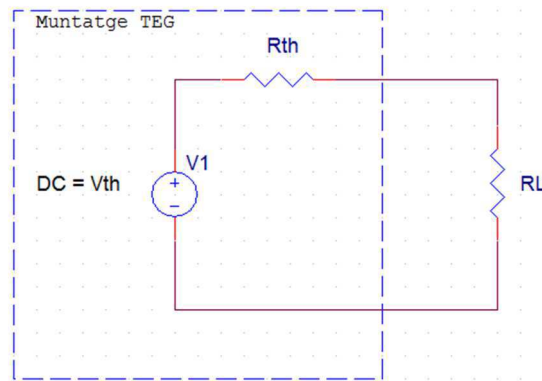


Fig. 5.10 – Model elèctric objectiu equivalent del muntatge TEG.

El voltatge a la que esta sotmesa la càrrega  $R_L$ , és  $V_{OUT}$ . És conegut que en circuit obert,  $V_{OUT} = V_{th}$ , per tant s'ha calculat el coeficient de Seebeck dels TEG, com es veu a (5.10) (5.11), utilitzant dos punts diferents a la gràfica de voltatge en circuit obert de les característiques tècniques del TEG, com es veu a la Fig.5.11, fent una mitja aritmètica, i utilitzant l'expressió (2.1).

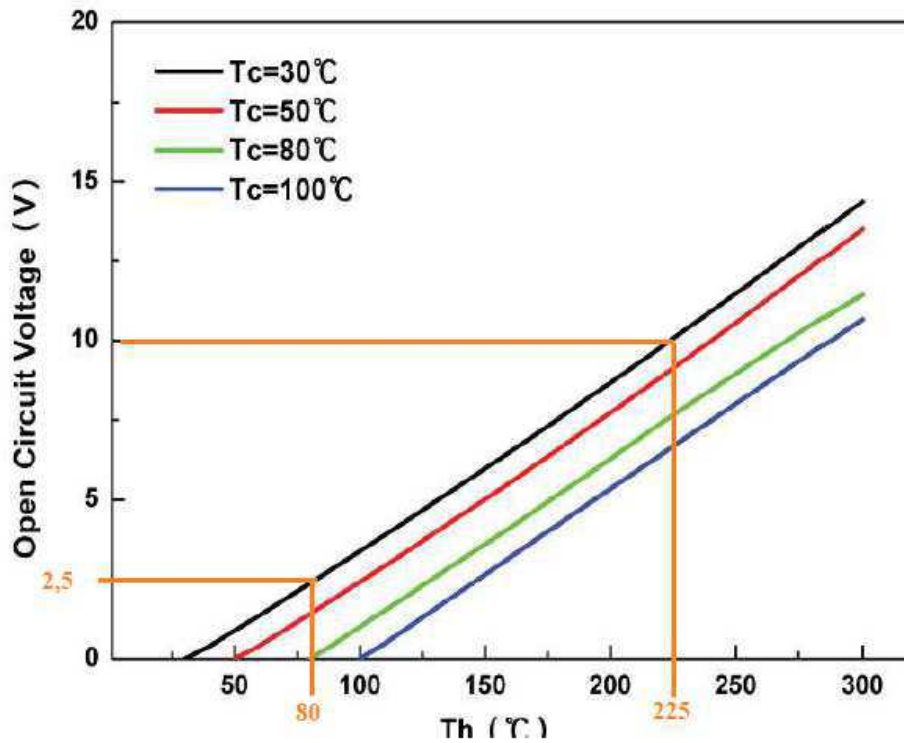


Fig. 5.11 – Gràfica del voltatge en circuit obert, en funció de  $\Delta T$ .

Sabent que cada cèl·lula té 241 pellets, segons informació de fabricant, es pot veure que:

$$\alpha_1 = \frac{V_{\alpha 1}}{n^{\circ} \text{pellets} * \Delta T_1} = \frac{2,5}{241 * 50} = 2,0747 \times 10^{-4} \text{ V/K} \quad (5.10)$$

$$\alpha_2 = \frac{V_{\alpha 2}}{n^{\circ} \text{pellets} * \Delta T_2} = \frac{10}{241 * 195} = 2,1279 \times 10^{-4} \text{ V/K} \quad (5.11)$$

Com s'ha observat, el coeficient de Seebeck no és el mateix, per tant, s'ha calculat la mitja aritmètica, com es veu a l'expressió (5.12).

$$\alpha = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{2,0747 \times 10^{-4} + 2,1279 \times 10^{-4}}{2} = 210,13 \mu \text{ V/K} \quad (5.12)$$

Amb el coeficient de Seebeck individual dels TEG calculat, s'ha trobat la tensió de Seebeck ( $V_{\alpha}$ ) en circuit obert d'una sola unitat de TEG, amb les condicions que ofereix el muntatge de les unitats DAQ al Tub Verd. L'expressió es pot analitzar a (5.13).



$$V_{\alpha} = n^{\circ} \text{pellets} \alpha \Delta T = 241 * 210,13 \times 10^{-6} * 40 = 2,0256 \text{ V} \quad (5.13)$$

Per tant, el voltatge que resulta de l'expressió (5.13), s'ha multiplicat pel nombre de TEG que finalment s'han muntat en sèrie a la unitat, tal com es veu a (5.14).

$$V_{\alpha \text{ total}} = V_{\alpha} * n^{\circ} \text{ TEG} = 2,0256 * 2 = 4,0512 \text{ V} \quad (5.14)$$

A l'expressió (5.14), s'ha trobat el segon paràmetre important necessari. Resta únicament la trobar la  $R_{\text{int}}$ , que equivaldria a la resistència equivalent de Thevenin, sent la resistència que mostren els 2 TEG connectats en sèrie al pas del corrent elèctric.

La resistència interna de cada TEG és un paràmetre difícil de calcular, ja que varia en funció del gradient de temperatura al qual està exposat. Després de realitzar un estudi en profunditat sobre projectes i estudis similars, amb objectius de dimensionat de TEG, s'ha utilitzat la resistència interna que indica el fabricant,  $R_{\text{int}} = 2.4 \Omega$  per cada TEG, ja que els assajos reals dels altres estudis, mostren gràfiques de variació de resistència interna en funció del gradient de temperatura quasi constants, assumint així que la variació és menyspreable [12], [34] i [44].

Amb l'últim paràmetre, el circuit del muntatge TEG s'ha realitzat instal·lant 2 TEG en sèrie per alimentar elèctricament la resta d'elements de la unitat DAQ. El circuit per a calcular la tensió de sortida ( $V_{\text{OUT}}$ ), es mostra a la Fig.5.12.

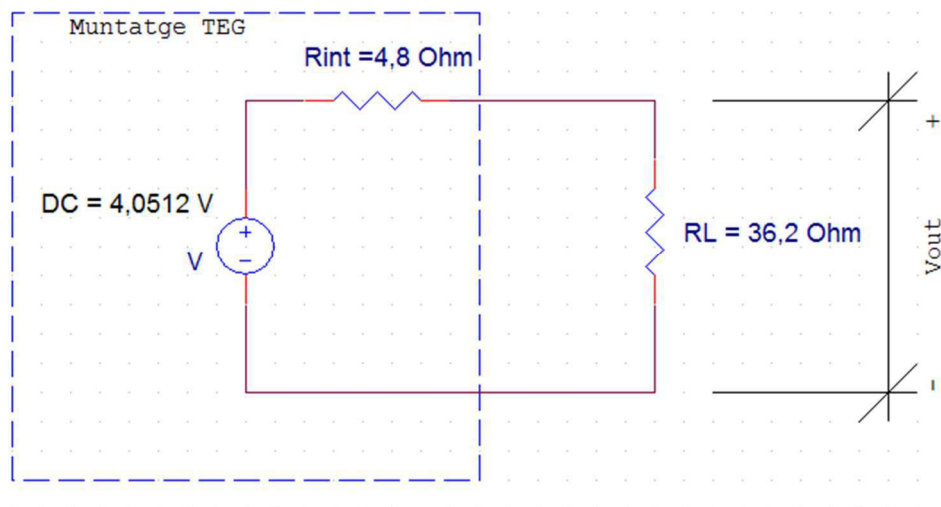


Fig. 5.12 - Model elèctric equivalent del muntatge TEG amb dades.

Calcular la  $V_{OUT}$  és relativament senzill, utilitzant per conèixer-la un divisor de tensió. El càlcul es pot trobar a (5.15).

$$V_{OUT} = V_{\alpha} \frac{R_L}{R_L + R_{int}} = 4,0512 \frac{36,2}{36,2 + 4,8} = 3,577 V \quad (5.15)$$

Donat que la tensió de funcionament més restrictiva és la del Waspnote, que té una tensió de funcionament de 3,3 V a 4,2 V, el resultat obtingut és totalment vàlid.

Al dimensionat elèctric s'ha conclòs que el muntatge de 2 TEG en sèrie és suficient per alimentar elèctricament tota la unitat DAQ.

#### **5.4. Distribució d'unitats d'adquisició al Tub Verd.**

Per detallar la solució de l'eficiència de control del Tub Verd, mitjançant les cèl·lules termoelèctriques, s'ha especificat el disseny i distribució de les unitats DAQ necessàries per la fase d'implementació.

S'ha dissenyat la distribució segons es pot veure a la Fig. 5.13. Amb la topologia proposada, s'aconsegueix una millora d'eficiència del control del circuit tancat del Tub Verd, millorant així el control específic d'avaries. S'ha volgut dividir el circuit en 11 trams, que els separen les unitats d'adquisició de dades autònomes.



Fig. 5.13 - Proposta de distribució d'unitats d'adquisició de temperatura al llarg del Tub Verd.

## 5.5. Detall de funcionament.

Cada unitat DAQ es situa on s'ha proposat al disseny anterior, per aconseguir dividir en 11 trams tot el circuit del Tub Verd. Com ja s'ha especificat en apartats anteriors, cada unitat d'adquisició es compon de diferents etapes i elements. A la Fig.5.14, es pot veure un diagrama de blocs dels elements que formen les unitats, més encarat a mode genèric de funcionament i a nivell de concepte, facilitant una posició esquemàtica a la unitat.

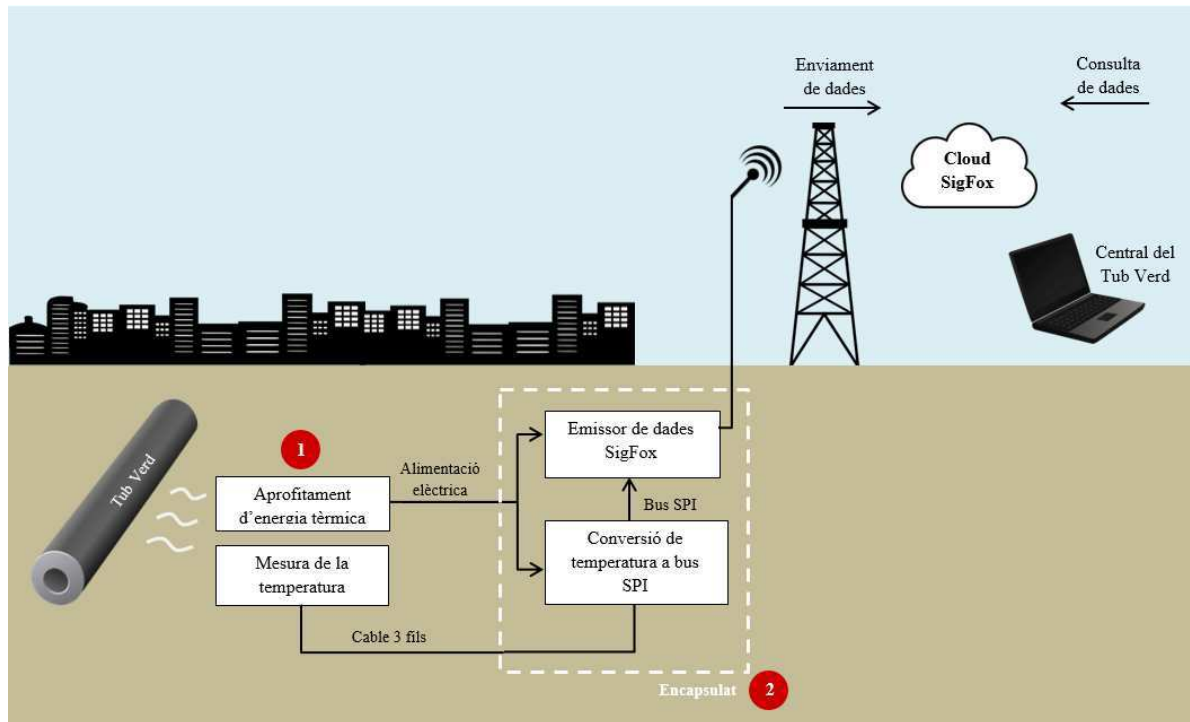


Fig. 5.14 - Solució esquemàtica general.

Com es pot observar a la Fig.5.14, la representació s'ha dividit en 2 etapes diferenciades i marcades amb numeració, que s'han utilitzat de localitzador per l'explicació del funcionament de la unitat.

La referència número 1, descriu l'etapa d'aprofitament d'energia tèrmica per a convertir-la en energia elèctrica, que alimenta elèctricament la resta de la unitat. Aquesta transformació es realitza mitjançant les cèl·lules termoelèctriques amb el principi de Seebeck. Aquesta primera etapa és l'essència de la present memòria, ja que és la que possibilita l'alimentació elèctrica per aconseguir un sistema d'adquisició i enviament de dades, sense bateria i sense fils.

Les cèl·lules termoelèctriques o TEG, subministren molt poca potència per unitat, en canvi, s'ha realitzat un muntatge de varis TEG, muntats tèrmicament en paral·lel i elèctricament sèrie. El consum necessari i la quantitat de TEG s'ha calculat i s'ha mostrat els resultats a l'apartat de dimensionat de l'etapa d'adquisició d'energia.

A mode d'orientació, es proposa un muntatge que pot encaixar amb les canonades del Tub Verd, ja que el muntatge dels TEG s'haurà d'unir mecànicament en contacte tèrmic, tal com

es pot veure a la Fig.5.15. La proposta de muntatge es realitza degut a que la memòria no s'ocupa de la fase d'implementació, i es limita a proposar possibles dissenys i topologies de muntatge d'unitats.

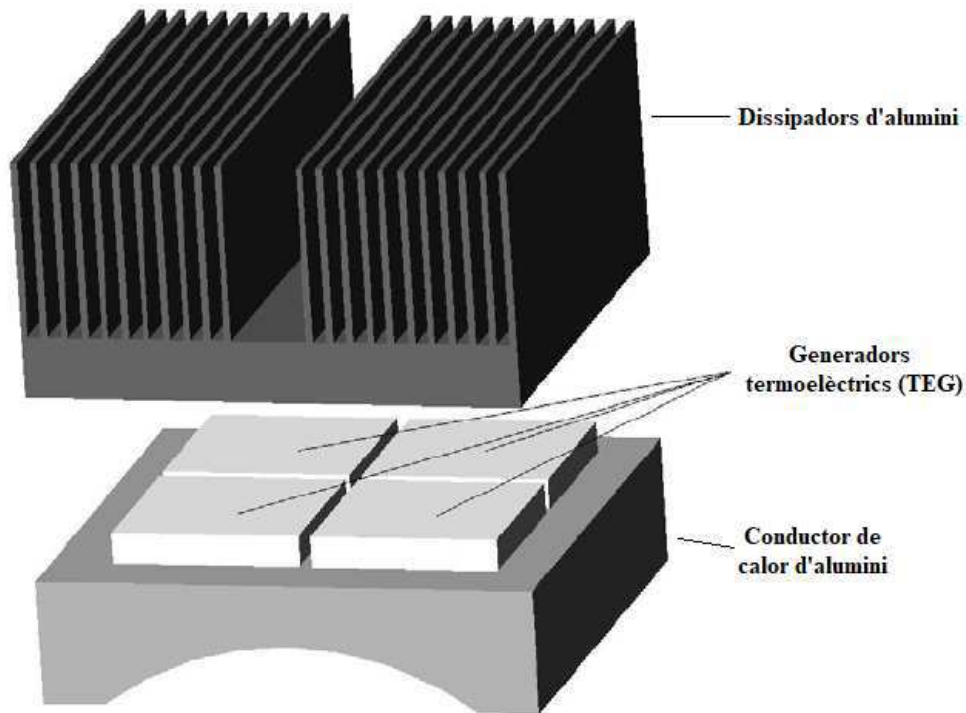


Fig. 5.15 - Muntatge de TEGs per aprofitament d'energia tèrmica de la canonada.

La referència número 2, descriu l'etapa d'adquisició, conversió del paràmetre físic, concretament la temperatura de la canonades del circuit tancat del Tub Verd, i posterior enviament de les dades mitjançant radiofreqüència. S'ha realitzat l'adquisició de la temperatura superficial de la canonada, mitjançant una sonda RTD tipus Pt100. La resistència variable, que és proporcional a la temperatura, és digitalitzada pel LTC2983 i enviada a través del bus SPI cap al Wasmote. El Wasmote rep la dada i la retransmet pel mòdul específic de SigFox al Cloud, mitjançant el protocol *wireless* de SigFox.

La representació més detallada de l'etapa d'adquisició, conversió i enviament es mostra a la Fig.5.16.

Una vegada les dades de la temperatura són emmagatzemades al *Cloud*, es poden consultar per la central del Tub Verd, per a tenir un control de les temperatures superficials de les canonades, al llarg de tot el circuit tancat d'aigua calenta del Tub Verd.

Obtenint aquesta informació, es pot determinar si hi ha una avaria greu durant la secció de trams, a causa d'una caiguda de temperatura superficial a les canonades.

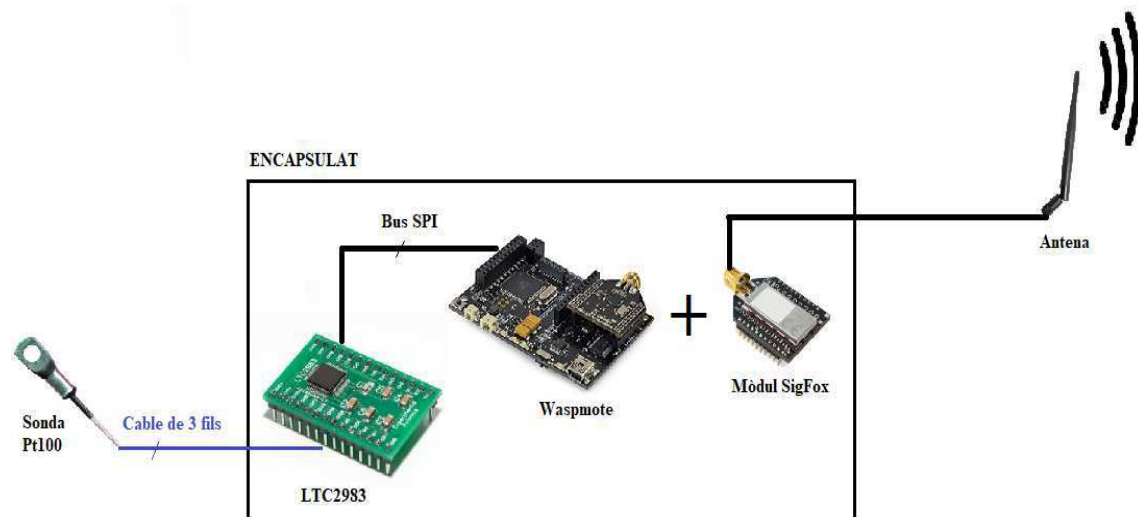


Fig. 5.16 - Etapa d'adquisició, conversió i enviament de la unitat.

## 6. Planificació del projecte.

### 6.1. Planificació inicial.

Per tal d'assegurar una planificació fiable i un pressupost el màxim ajustat possible, s'ha realitzat dues planificacions, una per la part de disseny del projecte i l'altra per la part d'implementació. S'ofereix una programació i un cost, de tota la solució de la implementació del projecte, encara que com indica el punt 2.2 de la present memòria, no es realitza el seguiment d'aquesta fase.

S'ha realitzat, també, un diagrama Gantt amb el software Microsoft Project, de les dues parts mencionades del projecte. Aquests diagrames, s'han realitzat per obtenir el cost variable en hores del projecte, a més de tenir una estructura molt més visual de totes les tasques per la tasca de seguiment de projecte.

Els recursos necessaris pel projecte, tant en la fase de disseny com en la fase d'implementació, s'han descrit seguidament. Considerant que al projecte no s'ha detallat el seguiment de la fase d'implementació,

Per la fase de disseny:

- Project Manager [PM].

Per la fase d'implementació:

- Project Manager de la empresa que implementa [PMI].
- Programador IT [PIT].
- Maquinista [MAQ].
- Operari 1 [O1].
- Operari 2 [O2].

S'esmenten les tasques generals del disseny del projecte. Per analitzar amb profunditat les sub-tasques i les seves assignacions i prelacions, es pot consultar l'ANNEX 7 de l'avantprojecte.

- 1 Identificar l'estudi.
- 2 Selecció de l'alternativa més adequada.
- 3 Anàlisi de la viabilitat.
- 4 Planificació del projecte.
- 5 Desenvolupament de la solució.
- 6 Pressupost.
- 7 Entrega de l'avantprojecte.
- 8 Introducció al projecte de detall.
- 9 Marc conceptual.
- 10 Desenvolupament de la solució.
- 11 Anàlisi i resultats.
- 12 Desviacions de la planificació.
- 13 Tancament de projecte i conclusions.

S'han mencionat també, les tasques generals de la implementació del projecte. Per analitzar amb profunditat les sub-tasques i les seves assignacions i prelacions, es pot consultar l'ANNEX 7 de l'avantprojecte.

- 1 Compra de materials.
- 2 Muntatge.
- 3 Identificació de zones urbanes on actuar.
- 4 Obra a zona urbana.
- 5 Proves i validació.

Les conclusions temporals extretes de la programació Gantt, al projecte en fase de disseny, han estat que l'inici del projecte ha estat el dia 11 de Novembre i el seu termini ha estat l'11 de Juny, amb una durada total de 7 mesos. On l'avantprojecte ha ocupat un total d'1 mes i 24 dies, i el projecte de detall s'ha realitzat durant un total de 4 mesos i 9 dies.



La part d'implementació tindrà una durada estimada de 3 mesos i 20 dies, segons la previsió realitzada mitjançant el MS Project, a l'any 2019.

## **6.2. Desviacions de la planificació.**

La planificació s'ha acomplert fins el punt d'entrega de l'avantprojecte. A partir d'aquesta tasca, s'han realitzat una sèrie de reestructuracions per ajustar el projecte a les necessitats del client, aquestes modificacions han significat un canvi a la planificació de l'avantprojecte i han estat tractades com a desviacions a la planificació del projecte.

Les desviacions s'han classificat com a desviacions per canvi, o desviacions per imprevistos. Les desviacions per canvi, han estat les d'anular la tasca 11 de l'avantprojecte i incorporació d'alguna tasca, com la d'assemblatge i repàs de la documentació del projecte. Les desviacions per imprevistos han estat principalment relacionades amb l'augment del temps de la tasca 10, per problemes i volum de treball. És per això que s'ha realitzat una nova programació de les tasques del projecte per ser adaptat a la realitat existent.

S'han mencionat les tasques generals del disseny del projecte, mostrant-se a partir de la fita entrega de l'avantprojecte, ja que a partir d'aquesta fita és quan han existit les desviacions. Per analitzar amb profunditat les sub-tasques de la nova programació, i les seves assignacions i prelacions, es pot consultar l'ANNEX 2 de la memòria.

- 8 Introducció al projecte de detall.
- 9 Reestructuració de la informació.
- 10 Marc conceptual.
- 11 Desenvolupament de la solució.
- 12 Desviacions de la planificació.
- 13 Conclusions i tancament del projecte.
- 14 Assemblatge i repàs de documentació.

S'han mencionat altra cop, les tasques generals de la implementació del projecte, tot i que no s'han vist modificades ni han patit cap desviació, ja que la present memòria no s'ocupa del seguiment de la fase d'implementació.

- 1 Compra de materials.
- 2 Muntatge.
- 3 Identificació de zones urbanes on actuar.
- 4 Obra a zona urbana.
- 5 Proves i validació.

Es pot observar que les tasques planificades a l'avantprojecte, són diferents a les panificades al projecte de detall. S'han comentat les modificacions de les tasques seguidament, a més del detall que impliquen les modificacions a nivell temporal.

**8. Introducció al projecte de detall:** S'han reduït les hores de 40 hores a 10 hores, degut a una reducció de tasca.

**9. Reestructuració d'informació:** Incorporació de nova tasca, de 0 hores a 30 hores.

**10. Marc conceptual:** S'ha reduït de 50 hores a 25 hores, per motius d'optimització de treball.

**11. Desenvolupament de la solució:** S'ha augmentat de 210 hores a 365 hores, per motius d'un increment considerable de treball, a més de problemes per aconseguir informació de fabricants. Dificultats a l'hora de calcular incorporades.

**12. Desviacions de la planificació:** Es manté idèntica a la de l'avantprojecte.

**13. Conclusions i tancament del projecte:** S'ha augmentat de 60 hores a 65 hores, degut que el resultat de l'eliminació de la tasca d'anàlisi de resultats ha produït que l'anàlisi es centri en aquest punt, en compte de dividir-ho en dos.

**14. Assemblatge i repàs de documentació:** Incorporació de nova tasca, de 0 hores a 15 hores. Tasca necessària per a garantir la bona qualitat de la memòria.

Amb la nova programació del MS Project de la fase de disseny i la fase d'implementació, les quals es poden consultar a la Fig.6.1 i Fig.6.2, respectivament, es pot observar que malgrat els canvis realitzats deguts a les desviacions, el termini d'entrega de la fase de disseny no s'ha vist alterada.

Per tant, les conclusions temporals extretes de la programació Gantt, al projecte en fase de disseny, han estat que l'inici del projecte ha estat el dia 11 de Novembre i el seu termini ha estat l'11 de Juny, amb una durada total de 7 mesos. On l'avantprojecte ha ocupat un total d'1 mes i 24 dies, i el projecte de detall s'ha realitzat durant un total de 4 mesos i 9 dies.



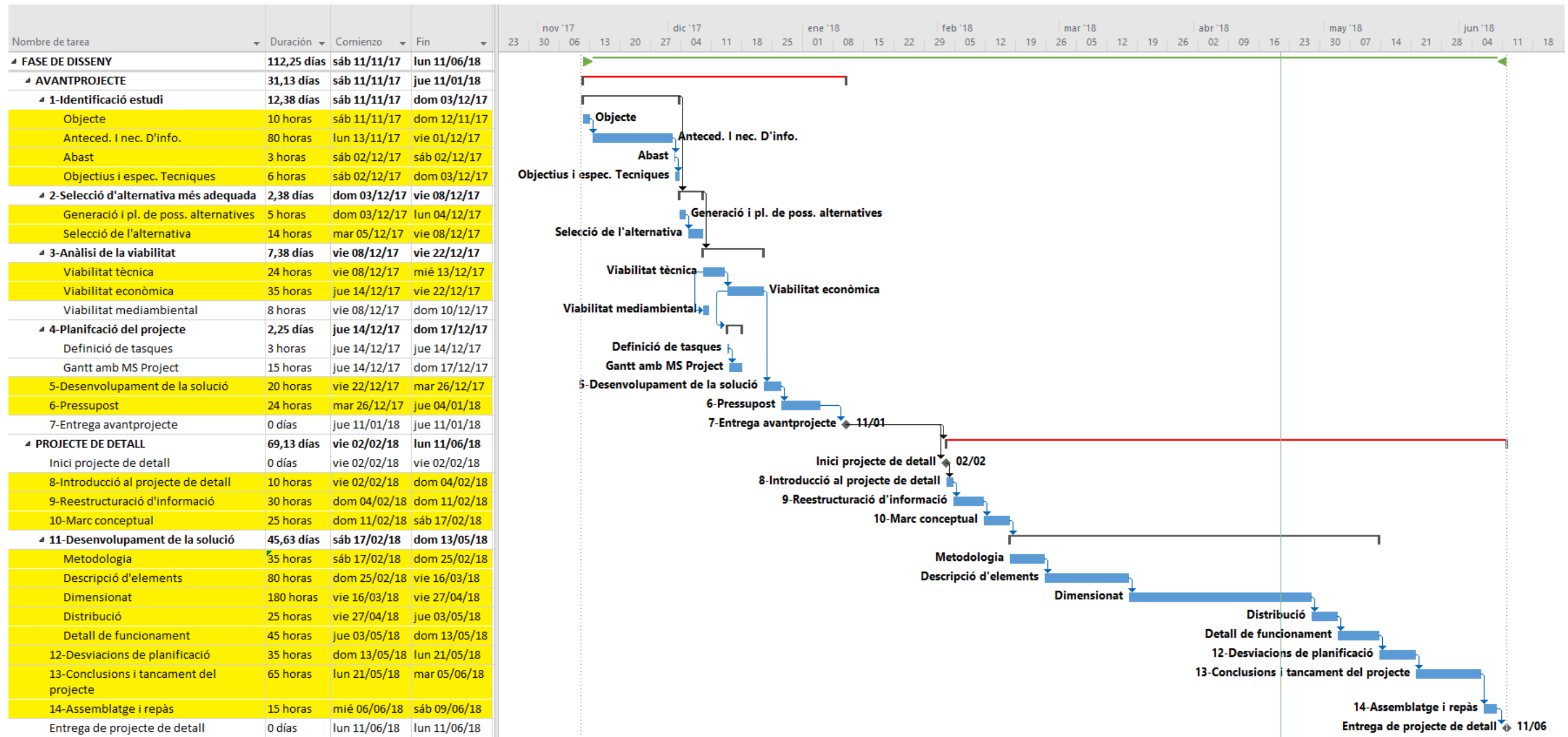


Fig. 6.1 - Gantt de la fase de disseny.



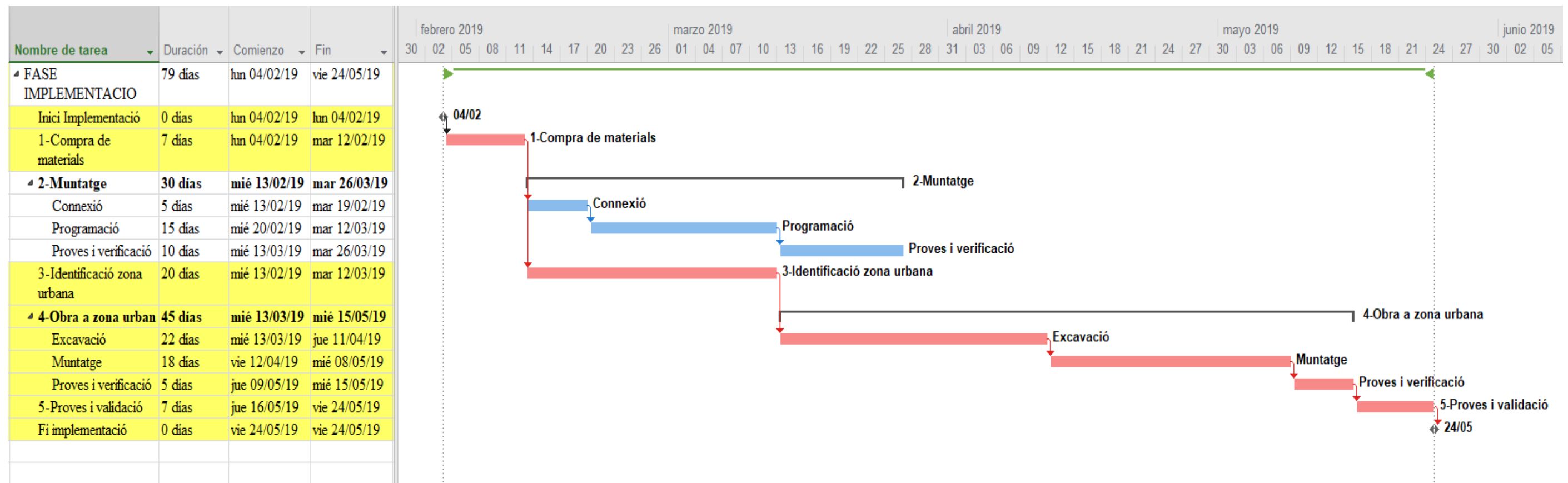


Fig. 6.2 - Gantt de la fase d'implementació.





## **7. Impacte mediambiental del projecte.**

El projecte aprofita el calor residual de les canonades del Tub Verd, pel que circula aigua prèviament escalfada mitjançant la incineració de residus i el biogàs generat per la digestió anaeròbica de fangs, per a generar electricitat, i alimentar així una estructura de sensors de temperatura. Aquests sistema de sensors no consumeixen l'energia de bateries, sinó de l'energia tèrmica, per tant, no només s'utilitza una metodologia d'Energy Harvesting altament sostenible, sinó que a més es redueix el residu altament contaminant, com són les bateries. S'han alimentat també els emissors SigFox amb la mateixa energia tèrmica del circuit tancat del Tub Verd, que funcionen també sense bateries. El projecte per tant, està dissenyat des d'un punt de vista respectuós amb el medi ambient.

La comunicació sense cables s'ha realitzat per SigFox, que es basa en la comunicació mitjançant ones electromagnètiques a l'espectre de la radiofreqüència, fet que pot afectar a persones amb electrosensibilitat, o a aparells electrònics sensibles.

A la fase d'implementació, poden haver-hi riscos derivats de la possible necessitat de desviar el trànsit temporalment per obra pública. Pot existir afectació a la vida quotidiana del veïnat de Mataró. Poden també esdevenir-se riscos degut a la generació de pols per causa d'obra pública, amb el conseqüent augment de la concentració de partícules en suspensió. Es contempla que la fase d'implementació serà temporal, per aquest motiu, els efectes d'aquesta fase també ho seran.

Per una mala implementació per l'empresa que ho durà a terme, pot haver-hi rastres o conseqüències de irregularitats al sòl urbà.

La implementació del projecte generarà una lleu contaminació visual, degut a la instal·lació d'antenes SigFox al llarg del casc urbà.

A la fase d'execució, i passat el temps, poden existir avaries d'equips electrònics, els quals hauran de ser substituïts, i reciclats a la deixalleria local, per al respecte del medi ambient.

Es pot trobar un anàlisi més exhaustiu a l'informe de detall, que es pot consultar a l'ANNEX 6 de l'avantprojecte. Es recullen a continuació, en forma de taula, les principals accions i factors que s'hauran de prendre en consideració al projecte de detall.

## 7.2. Accions d'impacte.

A la Taula 7.1., es recullen les accions d'impacte en les diferents fases del projecte.

Accions d'impacte		Observacions
Fase de Construcció	Instal·lació del projecte	Les accions d'impacte de la fase de construcció, es consideren però no són importants. Les úniques accions que poden repercutir són les accions relacionades amb l'obra pública.
Fase d'Explotació	Pròpia utilització del projecte	En la fase d'explotació no s'observa cap impacte important que pugui afectar. És te en compte el correcte emmagatzematge de les dades. Es considera possibles residus electrònics provocats per avaries.
	Mal funcionament dels equips	
	Manteniment del sistema	

Taula 7.1 - Accions d'impacte a les fases del projecte.

## 7.3. Factors ambientals d'impacte.

A la Taula 7.2., es recullen els factors ambientals d'impacte en els medis analitzats.

	Factor Ambiental	Impacte sobre ...
<b>Medi Natural</b>	Atmosfera	Ones electromagnètiques.
	Sòl	No s'ha contemplat cap impacte rellevant
	Aigua	No hi ha impacte aparent
	Flora	No hi ha impacte en absolut
	Fauna	No hi ha impacte en absolut
	Medi perceptual	No hi ha impacte aparent
<b>Medi Socioeconòmic</b>	Usos del territori	No hi ha canvis significatius en els usos del territori
	Culturals	No sembla que hi hagi impactes en aquest àmbit
	Infraestructura	No sembla que hi hagi impactes en les infraestructures socials
	Humans	No s'aprecia cap impacte important sobre els humans
	Economia i població	No hi ha impacte en absolut

Taula 7.2 - Factors ambientals d'impacte.

El disseny i la futura implementació del projecte ha estat basat en les prescripcions indicades en els reglaments i normatives indicats o relacionats per aquests tipus de projectes tècnics.

- Recomanació Europea 1999/519/EC1. Relativa a l'exposició del públic en general a camps electromagnètics.
- Llei 31/1995, de 8 de Novembre, de prevenció de Riscos Laborals.
- Llei 32/2003, de 3 de Novembre. General de telecomunicacions.
- Reial Decret 1627/1997, de 24 d'Octubre. S'estableixen disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres de construcció.
- Reial Decret 1066/2001, de 28 de Setembre. Pel que s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitàries front a emissions radioelèctriques.
- Reial Decret Legislatiu 2/2008, de 20 de Juny. Pel que s'aprova el text refós de la Llei de sòl.
- Reial decret 1580/2006, de 22 de Desembre, pel qual es regula la compatibilitat electromagnètica dels equips elèctrics i electrònics.
- Reglament electrotècnic de Baixa Tensió, aprovat pel Consell de Ministres, constituït en el Reial Decret 842/2002 del 2 d'agost de 2002 i publicat en el BOE n°.224 amb la data 18 de setembre de 2002.
- Decret 281/2003, de 4 de Novembre, de modificació del Decret 148/2001, de 29 de Maig, d'ordenació ambiental de les instal·lacions de telefonia mòbil i altres instal·lacions de radiocomunicació.
- Ordenança Municipal per la instal·lació i Funcionament d'instal·lacions de radiocomunicació.



## **8. Conclusions.**

### **8.1. Conclusió del projecte.**

Aquest projecte ha estat un projecte ambiciós, degut a que el camp d'aprofitament d'energia tèrmica pot desenvolupar-se des de moltes vessants. Tot i així, s'han assolit tots els objectius definits, respectant el rang d'actuació del projecte.

El concepte principal del projecte ha estat la possibilitat d'aprofitar l'energia tèrmica residual per assolir un objectiu. Per tant, s'ha definit com l'aprofitament de l'energia tèrmica residual del Tub Verd de Mataró, per la creació d'unitats d'adquisició de dades del circuit, les quals no s'alimenten per bateries i es comuniquen sense fils.

La primera part de la realització del projecte, ha consistit en una profunda recerca d'informació per assolir els coneixements necessaris sobre conceptes com l'EH, més concretament sobre les cèl·lules termoelèctriques, a més d'assolir coneixements sobre conceptes de transferència tèrmica i transmissions d'informació mitjançant ones electromagnètiques.

Amb l'extracció d'informació, s'ha realitzat l'observació que el camp d'aprofitament d'energia tèrmica residual és un camp que encara està en fase d'estudi i proves, degut a que els materials actuals limiten l'eficiència de les cèl·lules, obtenint un producte de baix rendiment que deixa de ser interessant per l'ús comercial. Tot i així, s'ha aconseguit un model de TEG molt interessant, que facilita unes prestacions més elevades que la resta del mercat, podent assolir així alimentacions elèctriques de baixa potència, com ha estat el cas.

Una vegada assolida tota la informació necessària, s'han marcat els objectius i les limitacions del projecte, per tal de delimitar-lo. Aquesta segona part ha consistit a assolir informació més específica i buscar elements per a dissenyar una topologia a nivell conceptual i empíric. El disseny que s'ha assolit aconsegueix amb els objectius especificats a l'avantprojecte, per tant s'ha estudiat i dissenyat una unitat d'adquisició de dades sense bateries i sense fils, alimentada elèctricament de la transformació d'energia tèrmica residual del circuit tancat del Tub Verd, en energia elèctrica, mitjançant generadors termoelèctrics.

S'han realitzat els càlculs pertinents per al dimensionat al detall de la unitat. Aquest càlculs han exposat la realitat que les càrregues que poden suportar els TEG són realment petites, fet que ha acotat molt el disseny de la unitat. La tensió resultat amb càrrega que proporciona una associació de TEG, és petita, si el que es vol és mantenir les dimensions del muntatge mecànic.

L'elecció d'elements de la unitat ha estat molt acotada per les característiques de l'alimentació elèctrica que proporciona l'associació TEG, per tant, la dada que finalment s'ha pogut captar del circuit és la temperatura, ja que existeixen sensors passius de temperatura que no necessiten d'alimentació elèctrica pel sensor, com les RTD. Altres sensors comercials, necessiten nivells de tensió més elevats i han quedat fora del projecte.

L'acompliment del quart objectiu, ha estat difícil, ja que ha desenvolupat en una cerca d'informació profunda sobre tipus de comunicació i sistemes IoT. Finalment, gràcies a la creixent tendència a tenir tots els objectes comunicats, s'ha seleccionat i usat una xarxa *wireless* amb cobertura total a territori català i solucions compatibles comercials. Aquest fet ha permès processar les dades capturades al Tub Verd, i ser enviades per ser processades al centre de control del mateix.

Finalment, la viabilitat del projecte s'ha demostrat a nivell empíric i teòric. El resultat de l'estudi realitzat ha estat assolir els 5 objectius definits a l'avantprojecte. S'especifica l'assoliment dels objectius seguidament:

- El primer objectiu s'ha assolit completament, ja que s'ha estudiat en profunditat i seleccionat els TEG comercials més òptims pel disseny proposat. El disseny s'adapta a la geometria de les canonades del Tub Verd, fet que maximitza l'aprofitament d'energia tèrmica residual.
- El segon objectiu s'ha assolit completament, degut a que el disseny, els elements proposats i els càlculs, demostren que és viable mantenir una alimentació constant i suficient per alimentar tota la unitat DAQ. Els elements que s'han d'alimentar per aconseguir la solució viable, han estat triats amb l'objectiu de tenir el mínim consum possible. Per tant, cada unitat DAQ col·locada a les canonades del Tub Verd, és autosuficient i autònoma.
- El tercer objectiu no s'ha assolit en la seva totalitat, ja que a l'hora de cercar i dissenyar elements per extracció de dades, s'han trobat moltes dificultats per a trobar

sensors d'altres paràmetres que no siguin la temperatura, que siguin de molt baix consum. Aquest fet a produït que només sigui viable la lectura d'una dada del circuit, la temperatura.

- El quart objectiu s'ha acomplert, degut a sistemes en continua expansió sobre el IoT, possibilitant així, la incorporació d'una comunicació *wireless* viable per al sistema. La selecció de protocol de comunicació, ha facilitat la topologia de distribució de sensors, en format malla, per tal de distribuir-los al llarg de tot el circuit del Tub Verd.
- El cinquè i últim objectiu, s'ha assolit parcialment, degut a que la informació captada del circuit ha estat acotada a causa de la manca de possibilitats de diferents sensors. El control òptim de possibles fugues al circuit, està suportat pel paràmetre de la temperatura superficial de la canonada, on s'observa la caiguda brusca de temperatura a causa d'una fuga gran, podent-la situar amb una disminució d'error en metres.

Hi ha un moviment molt creixent i desenvolupador cap a l'EH, motivat per la caducitat i demostrat perjudici dels combustibles fòssils. La recerca i el desenvolupament sobre nous mètodes d'assolir energia a través de l'EH, és molt encoratjador. S'han cercat moltes idees noves, moltes empreses i emprenedors que estan obrint camí cap a una extracció d'energia sostenible. La conscienciació de la humanitat per aprofitar tota l'energia residual, és igual de quin tipus, és necessari en els temps que corren. S'està anant en el bon camí, però encara queda molt per avançar.

## 8.2. Justificació de les desviacions.

Durant l'execució del projecte de detall, han succeït desviacions, tant en la planificació, com en el pressupost. L'estudi de les desviacions i la justificació d'aquetes, s'han estudiat en detall al punt 6.2, de la present memòria.

Les desviacions s'han classificat com a desviacions per canvi, o desviacions per imprevistos. Les desviacions per canvi, han estat les d'anular la tasca 11 de l'avantprojecte i incorporació

d'alguna tasca, com la d'assemblatge i repàs de la documentació del projecte, que s'ha considerat necessària i important afegir-la.

El motiu de la desviació per canvi, concretament la d'extreure el punt d'anàlisi de resultats, és que no s'ha considerat de suficient importància ja que els resultats del projecte d'implantació de les unitats DAQ no es poden analitzar fins un llarg termini.

Les desviacions per imprevistos han estat principalment relacionades amb l'augment del temps de la tasca 10, per problemes i volum de treball.

Els motius de la desviació per imprevist de la tasca de desenvolupament de la solució, han estat:

- Increment elevat de la feina que ha produït l'apartat, fet que no s'havia contemplat.
- Falta d'informació per part del fabricant, a part d'omissió de consultes.
- La falta d'informació de fabricant, ha fet que s'incrementi molt el temps de l'apartat de dimensionat de la solució.

El cost en mà d'obra per la fase de disseny s'ha incrementat en 4.792 € al preu final del pressupost degut a les desviacions exposades, tot i que la fita d'entrega de projecte no s'ha vist modificada.

El cost en el material s'ha vist modificat per la reducció de material TEG, justificat a l'apartat de dimensionat elèctric. La reducció afecta directament al cost de la fase d'implementació, disminuint-lo en 7.232 €. Aquestes desviacions resulten sobre el cost total del projecte disminuint-lo de 109.758 € a 107.318 €. La informació sobre les variacions de preus es poden trobar a l'estudi econòmic del projecte.

S'ha realitzat un anàlisi per torbar les causes dels desviaments. Les conclusions extretes són:

- Falta de revisió del document avantprojecte. A causa de la falta de revisió posterior, es van detectar alguns detalls a modificar, tant en el disseny del document com també en petits detall del propi contingut de l'avantprojecte.



- Falta de previsió en l'elaboració del document de la memòria. No es va fer una previsió sobre la planificació lo suficientment acurada. Això va provocar les desviacions justificades.

## **8.4. Punts forts i febles del projecte.**

### **8.4.1. Punts forts.**

L'estudi i el disseny realitzat, per la creació de les unitats d'adquisició de dades, acredita la possibilitat d'alimentar elèctricament dispositius de baix consum, per mitjà d'energia tèrmica residual. Aquesta fita s'ha assolit gràcies a que el mercat de cèl·lules termoelèctriques esta avançant, i ha permès la incorporació dels TEG utilitzats al projecte per alimentar tots els elements de la unitat.

Les unitats dissenyades, permeten instal·lar-se mecànicament on es produeix el rebuig d'energia tèrmica, per així transformar-la en energia elèctrica, en molt poc espai físic. Les unitats permeten així, l'adquisició de la temperatura superficial de la canonada del Tub Verd per a identificar una avaria greu en el circuit tancat, degut a una pèrdua de temperatura superficial dràstica.

El projecte ha facilitat també, la viabilitat de comunicació remota sense cables mitjançant SigFox. La comunicació assolida permet la transmissió de dades al núvol, per després poder ser analitzades des del centre de tractament de dades del Tub Verd.

Finalment doncs, el resultat del disseny és una unitat que permet adquirir dades físiques del Tub Verd, concretament la temperatura superficial de la canonada, per transmetre-les mitjançant una comunicació sense cables, d'una manera autònoma i sense fils.

### **8.4.1. Punts febles.**

El muntatge d'un prototip del projecte hagués estat una millora considerable pel projecte. S'hagués pogut realitzar les mesures necessàries i fer variacions a la càrrega per mostrar el

comportament de la part més important del projecte, la transformació d'energia tèrmica a energia elèctrica. Per tant, l'estudi i el disseny s'ha realitzat exclusivament de forma empírica per falta d'un prototip.

La falta d'informació concreta de fabricants dels elements que componen la unitat, ha suposat en alguns punts, realitzar aproximacions de casos més desfavorables. Aquest fet ha suposat que el comportament obtingut tingui desviacions en cas de realitzar el muntatge d'un prototip.

No s'ha profunditzat a la part de comunicació i trama de protocol SigFox, degut a que l'abast del projecte ho indicava d'aquesta manera, però per a realitzar una completa viabilitat de que el sistema de comunicació de la unitat funcioni amb total transparència, s'hauria d'haver profunditzat en la comunicació sense fils.

## **8.5. Possibles millores i futures línies de treball.**

El projecte realitzat té una millora i línia futura directa i és la construcció d'un prototip, com ja s'ha comentat, per a realitzar tots els assajos el màxim reals possibles, per a veure el comportament del disseny de la unitat d'adquisició de dades del Tub Verd. D'aquesta manera es podrà sotmetre el prototip a diferents condicions de gradients de temperatura i aplicar diferents càrregues als TEG, per a observar i estudiar el comportament en condicions de contorn molt similars a les del circuit tancat del Tub Verd.

Una possible millora del projecte, seria realitzar dos possibles modificacions i consideracions a l'hora de dissenyar la unitat DAQ. La primera, és considerar realitzar les modificacions pertinents per assegurar que la càrrega que alimenta els TEG, sigui igual o molt similar a la resistència interna que ofereixen els propis TEG, ja que així, s'obtidria la màxima potència que pot proporcionar l'etapa de generació de la unitat, seguint la llei de la màxima potència de transferència. La segona, és considerar una modificació de disseny, ja que apart del circuit d'aigua calenta del Tub Verd, també es proporciona aigua freda per refrigeració, per un altra circuit pròxim al calent. La millora seria modificar el disseny perquè l'escalfor dissipada del circuit d'aigua calenta escalfi la cara calenta del TEG, i el circuit fred refrigeri la cara freda del TEG, provocant així un increment considerable al gradient de

temperatura entre cares del TEG, fet que milloraria molt l'eficiència de la generació d'energia de la unitat.

El futur de les cèl·lules termoelèctriques esta encaminat cap a la millora de la seva figura de mèrit, ja que va relacionada amb el seu rendiment. Els TEG actuals, tenen una figura de mèrit baixa, ja que és una conseqüència dels materials que empren en construir-los. El material habitual per a TEG que treballen a baixa temperatura és el Bismut-Tel·lur. S'està investigant amb nous materials, com els *skutterudites* que milloren molt la figura de mèrit de les cèl·lules, i per tant el seu rendiment. Aquest nous materials, provocarien que els TEG generéssim molta més energia, i per tant, s'obriria mercat d'EH a l'usuari i contribuiria a aportar una manera més d'aprofitament d'energia responsable i sostenible.

Per finalitzar, una millora proposada en el camp de la comunicació *wireless* és el possible canvi de SigFox a LoRaWAN, ja que són dos protocols molt semblants a nivell de prestacions, però SigFox està privatitzat i LoRaWAN no, ja que és *open source*. El motiu pel qual no s'ha utilitzat LoRaWAN és únicament perquè encara no està estès a territori de Mataró, què és on s'ha realitzat el projecte, tot i que en un futur pròxim, sí que hi haurà cobertura LoRaWAN.



## 9. Referències.

- [1] [www.energia2012.es](http://www.energia2012.es), M<sup>a</sup> Cruz Acero i Jaume Esteve, *Energía ambiental (energy harvesting)*. IMB-CNM, CSIC.
- [2] Á. Fernández Ramos, *Energy Harvesting: Una técnica para generar energía*. Treball de Final de Grau, Universitat Autònoma de Madrid, Julio 2017.
- [3] [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org), Copyright © 2017 Zigbee Alliance, 2017.
- [4] [www.researchandmarkets.com/research/r3w48p/energy\\_harvesting](http://www.researchandmarkets.com/research/r3w48p/energy_harvesting), Knowledge Sourcing Intelligence, *Energy Harvesting System Market – Forecasts from 2017 to 2022*. July, 2017.
- [5] [www.mdpi.com/1424-8220/14/3/4755ag](http://www.mdpi.com/1424-8220/14/3/4755ag), R.Caliò – U.B. Rongala – D. Camboni – M. Milazzo – C. Stefanini – G. De Petris – C.M. Oddo, *Piezoelectric Energy Harvesting Solutions*. March 10th , 2014.
- [6] [www.europapress.es/castilla-lamanca/noticia-casar-guadalajara-acoge-mayor-planta-solar-fotovoltaica-provincia-dara-energia-mas-7000-hogares-20170829165037.html](http://www.europapress.es/castilla-lamanca/noticia-casar-guadalajara-acoge-mayor-planta-solar-fotovoltaica-provincia-dara-energia-mas-7000-hogares-20170829165037.html), Europapress, *El Casar acoge la mayor planta solar de Guadalajara que dará energía a más de 7.000 hogares*. 29 de Agosto, 2017.
- [7] [www.powercastco.com](http://www.powercastco.com), ©Powercast Corp.®.
- [8] [www.pavegen.com](http://www.pavegen.com), © Pavegen 2018.
- [9] [www.micropelt.com](http://www.micropelt.com), EH4 GmbH.
- [10] [www.researchgate.net/publication/274565846](http://www.researchgate.net/publication/274565846), P.E. Ruiz Ortega – M.A. Olivares Robles – L.K. Toscano Medina, *Análisis del Calor de Thomson en un Sistema Termoeléctrico Unidimensional de Dos Etapas*. Octubre, 2014.
- [11] [ethic.es/2016/07/el-trampolin-de-la-innovacion](http://ethic.es/2016/07/el-trampolin-de-la-innovacion), C. Gómez-Cotta, *El trampolín de la innovación*.

- [12] R. Muñoz Zurdo, *Diseño de un sistema termoeléctrico aprovechando características geotérmicas*. Trabajo de Final de Grado, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, Juny 2013.
- [13] J. Rui Camargo and M.C. Costa de Oliveira, *Principles of Direct Thermoelectric Conversion, Heat Analysis and Thermodynamic Effects*, Dr Amimul Ahsan (Ed.). ISBN: 978-953-307-585-3, 2011.
- [14] Pallás Areny, Ramón, *Sensores y acondicionadores de señal*, 2ª Edición, Marcombo, Boixareu editores 1994. ISBN: 84-267-0989-1994.
- [15] <http://iopscience.iop.org/book/978-1-6817-4641-8/chapter/bk978-1-6817-4641-8ch1>, H. Julian Goldsmid, *The Physics of Thermoelectric Energy Conversion*. April, 2017.
- [16] A. Martín Domingo, *Apuntes de Transmisión del calor*. Departamento de Física e Instalaciones, Universidad Politécnica de Madrid, Mayo 2011.
- [17] [www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm), UNET, Transferencia de Calor.
- [18] A. Risseh – H. Nee – O. Erlandsson – K. Brinkfeldt, et al., *Design of Thermoelectric Generator for Waste Heat Recovery Application on a Drivable Heavy Duty Vehicle*. SAE Int. J. Commer. Veh. 10(1): 26-44, 2017.
- [19] J.E. Rodríguez, *La recuperación termoeléctrica del calor residual, una Fuente de energía ambientalmente amigable*. Grupo de Materiales Termoeléctricos, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, MOMENTO, Diciembre 2010.
- [20] [www.powerwatch.com](http://www.powerwatch.com), © 2018 Matrix Industries.
- [21] [scatec.no](http://scatec.no), Scatec company.
- [22] [tegm.no](http://tegm.no), Scatec's company.
- [23] TEGma, *Waste heat to green power*. Presentation, May 24th 2017.

- [24] Travis T. Wallace, 2011 DOE Thermoelectrics Applications Workshop, *Development of Marine Thermoelectric Heat Recovery Systems*. January 5th 2011.
- [25] H. Fagehi, *Optimal Design of Automotive Exhaust Thermoelectric Generator (AETEG)*. Master's Theses. Western Michigan university, December 2016.
- [26] [www.rgsdevelopment.nl/solutions/thermagy](http://www.rgsdevelopment.nl/solutions/thermagy), © RGS DEVELOPMENT BV.
- [27] [www.greenteg.com/U-Value](http://www.greenteg.com/U-Value), greenTEG AG.
- [28] [www.tubverd.cat](http://www.tubverd.cat), © Mataró Energia Sostenible.
- [29] [en.wikipedia.org/wiki/District\\_heating](http://en.wikipedia.org/wiki/District_heating), District Heating, Wikipedia.
- [30] [www.aiguesmataro.com/ca/el-tub-verd](http://www.aiguesmataro.com/ca/el-tub-verd), © Aigües de Mataró, Ajuntament de Mataró.
- [31] A. Bonmatí, *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica*. Documentación Universitaria, Girona 2008. ISBN: 978-84-96742-37-6.
- [32] Dpto. De Electrónica, Automática e Informática Industrial, "Modelado de una célula Peltier".
- [33] [www.marlow.com/resources/faqs](http://www.marlow.com/resources/faqs), © 2017 II-VI Marlow, Inc. All Rights Reserved.
- [34] Francisco Javier Villasevil Marco, Tesis doctoral: *Desarrollo y caracterización de estructuras termoeléctricas con pellets constituidos por nuevos materiales y geometrías no estandar*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [35] A.M. López Martínez i F.X. Villasevil Marco, *La termoelectricitat, una tecnologia sostenible i respectuosa amb el medi*. Presentació de diapositives.
- [36] M. Ortiz Aguilar, *Sistema electrònic para el aprovechamiento de la energía del cuerpo humano*. Trabajo de Final de Grado, Escola Universitària Politècnica de Mataró, Primavera 2012.
- [37] [www.sigfox.com/en](http://www.sigfox.com/en), web principal de la tecnologia SigFox, SigFox, Made by EMAKINA.

- [38] [www.nobbot.com/redes/sigfox-la-red-para-el-internet-de-las-cosas](http://www.nobbot.com/redes/sigfox-la-red-para-el-internet-de-las-cosas), web d'explicació de la tecnologia SigFox..
- [39] <http://www.analog.com/en/products/analog-to-digital-converters/integrated-special-purpose-converters/digital-temperature-sensors/ltc2983.html#product-requirement>, web d'informació sobre el dispositiu LTC2983.
- [40] [www.logstor.com](http://www.logstor.com). Web del fabricant de canonades del Tub Verd.
- [41] [es.wikipedia.org/wiki/Calor](http://es.wikipedia.org/wiki/Calor). Calor, Wikipedia.
- [42] [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/caloresph2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/caloresph2o.pdf). Calor específic de l'aigua.
- [43] [es.wikipedia.org/wiki/Conductividad\\_térmica](http://es.wikipedia.org/wiki/Conductividad_térmica). Conductivitat tèrmica. Wikipèdia.
- [44] A. Rof Ballús, *Estudio y parametrización de un generador termoeléctrico*. Treball de final de grau, Escola Politècnica de Catalunya, Juny 2015.







# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**Estudi econòmic**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



## **Índex.**

Índex de taules.....	III
Glossari de termes. ....	V
1. Pressupost.....	7
1.1. Amidaments.....	7
1.2. Quadre de preus. ....	9
1.3. Pressupost parcial. ....	10
1.4. Pressupost global. ....	14
2. Anàlisi de rendibilitat.....	15
3. Desviacions econòmiques.....	19



## **Índex de taules.**

Taula 1.1 - Hores dedicades al disseny del projecte. ....	7
Taula 1.2 - Hores dedicades a la implementació del projecte.....	8
Taula 1.3 - Material del projecte. ....	8
Taula 1.4 - Relació preus per hora dels recursos emprats en disseny i implementació del projecte. ....	9
Taula 1.5 - Preus de material necessari per la implementació del projecte...	10
Taula 1.6 - Pressupost parcial de la fase de disseny. ....	11
Taula 1.7 - Pressupost parcial de la mà d'obra a la fase d'implementació....	12
Taula 1.8 - Preu material per la fase d'implementació. ....	13
Taula 1.9 - Preu amortitzacions. ....	14
Taula 2.1 - Taula de rendibilitat econòmica del projecte.....	15





## **Glossari de termes.**

ICB	Índex cost-benefici.
I.V.A	Impost sobre el valor afegit.
TIR	Tassa interna de retorn.
VAN	Valor net actual.
WSN	<i>Wireless sensor network.</i>



# 1. Pressupost.

## 1.1. Amidaments.

El present capítol recull els amidaments corresponents a l'enginyeria (disseny i desenvolupament de la solució) i els materials emprats. Es poden observar a la Taula 1.1., Taula 1.2. i Taula 1.3., respectivament.

### Capítol I: Elaboració del projecte

#### Disseny:

Nº	Nom de la tasca	Duració [h]
<b>AVANTPROJECTE</b>		<b>247</b>
1	Identificar estudi	99
2	Selecció d'alternativa més adequada	19
3	Anàlisi de la viabilitat	67
4	Planificació del projecte	18
5	Desenvolupament de la solució	20
6	Pressupost	24
7	Entrega avantprojecte	-
<b>PROJECTE DE DETALL</b>		<b>545</b>
8	Introducció al projecte de detall	10
9	Reestructuració d'informació	30
10	Marc conceptual	25
11	Desenvolupament de la solució	365
12	Desviacions de planificació	35
13	Conclusions i tancament del projecte	65
14	Assemblatge i repàs	15
	Entrega de projecte de detall	-

Taula 1.1 - Hores dedicades al disseny del projecte.

**Implementació:**

Nº	Nom de la tasca	Duració [dies]
<b>FASE IMPLEMENTACIO</b>		<b>109</b>
1	Compra de materials	7
2	Muntatge	30
3	Identificació zona urbana	20
4	Obra a zona urbana	45
5	Proves i validació	7
	Fi implementació	-

Taula 1.2 - Hores dedicades a la implementació del projecte.

**Capítol II: Material**

Referència	Fabricant	Descripció	Quantitat	Proveïdor
TGPR-22W-7V-56S	TEGPro	Cel·lula termoelectrica	20	Tegmart
Waspote + SigFox	Libelium	Emissor de dades SigFox	10	Cooking Hacks
Pt-S12D6-10M	Remberg	Sonda Pt100	10	Gasteiz
LTC2983	Linear Technology	Conversor de RTD a SPI	10	Linear Tech.
Cable antena	-	Extensor cable antena	10	RS Components
Encapsulat	-	Encapsulat on col·locar la electrònica	10	
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	Cable multifilar de 4G1.5 mm2	30	Sumcab
Dissipador d'alumini	-	Dissipador d'alumini pels TEG	20	RS Components
Conductor d'alumini	-	Conductor tèrmic d'alumini per fixa a canonada	20	RS Components

Taula 1.3 - Material del projecte.

## 1.2. Quadre de preus.

### Capítol I: Elaboració del projecte

A la Taula 1.4., es poden revisar els preus per cada hora de treball dels recursos necessaris per la realització del disseny i la implementació del projecte.

Recurs	Preu h. normal [€]	Preu h. extra [€]
<b>DISSENY</b>		
Project Manager [PM]	40	60
<b>IMPLEMENTACIÓ</b>		
Project Manager empresa implementadora [PMI]	50	70
Programador IT [PIT]	35	42
Maquinista [MAQ]	22	30
Operari [OP1, OP2]	18	25

Taula 1.4 - Relació preus per hora dels recursos emprats en disseny i implementació del projecte.

**Capítol II: Material**

A la Taula 1.5, es poden revisar els preus unitaris dels materials necessaris per dur a terme la implementació del projecte.

<b>Referència</b>	<b>Proveïdor</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu unitari [€]</b>	<b>Descompte</b>
TGPR-22W-7V-56S	Tegmart	20	57,50	10%
Waspnote + SigFox	Cooking Hacks	10	228,00	5%
Pt-S12D6-10M	Gasteiz	10	32,67	20%
LTC2983	Linear Tech.	10	27,84	10%
Cable antena	RS Components	10	12,40	5%
Encapsulat		10	24,90	15%
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	30	0,89	5%
Dissipador d'alumini	RS Components	20	31,87	5%
Conductor d'alumini	RS Components	20	47,12	5%

Taula 1.5 - Preus de material necessari per la implementació del projecte.

**1.3. Pressupost parcial.****Capítol I: Elaboració del projecte****Disseny:**

A la taula següent, Taula 1.6., es mostren les taques realitzades per a desenvolupar el disseny del projecte, així com la quantitat d'hores necessàries i el preu associat a cada tasca.

Nº	Nom de la tasca	Duració [h]	Recurs	Preu [€]
<b>AVANTPROJECTE</b>		<b>247</b>		<b>7.400</b>
1	Identificar estudi	99	PM	3.960
2	Selecció d'alternativa més adequada	19	PM	480
3	Anàlisi de la viabilitat	67	PM	1.020
4	Planificació del projecte	18	PM	180
5	Desenvolupament de la solució	20	PM	800
6	Pressupost	24	PM	960
7	Entrega avantprojecte	-	PM	0
<b>PROJECTE DE DETALL</b>		<b>545</b>		<b>21.800</b>
8	Introducció al projecte de detall	10	PM	400
9	Reestructuració d'informació	30	PM	1.200
10	Marc conceptual	25	PM	1.000
11	Desenvolupament de la solució	365	PM	14.600
12	Desviacions de planificació	35	PM	1.400
13	Conclusions i tancament del projecte	65	PM	2.600
14	Assemblatge i repàs	15	PM	600
	Entrega de projecte de detall	-	PM	0
<b>COSTOS INDIRECTES</b>				<b>6.424</b>

Taula 1.6 - Pressupost parcial de la fase de disseny.

Total costos de disseny amb marge (10%) = 32.120 €.

**Implementació:**

A la taula següent, Taula 1.7., es mostren les taques realitzades per a implementar el projecte, així com la quantitat d'hores i el preu associat a cada tasca.

Nº	Nom de la tasca	Duració [dies]	Recurs	Preu [€]
<b>FASE IMPLEMENTACIO</b>				<b>28.836</b>
1	Compra de materials	7	PMI	700
2	Muntatge	30	PIT	8.400
3	Identificació zona urbana	20	PMI	2.000
4	Obra a zona urbana	45	PMI+PIT+MAQ+OP1+OP2	12.976
5	Proves i validació	7	PMI+PIT	4.760
	Fi implementació	-	PMI	0
<b>COSTOS INDIRECTES</b>				<b>1.586</b>

Taula 1.7 - Pressupost parcial de la mà d'obra a la fase d'implementació.

Total costos mà d'obra amb marge (10%) = 31.720 €.



**Capítol II: Material**

A la taula següent, Taula 1.8., es mostren els costos dels materials necessaris per a la fase d'implementació del projecte.

Referència	Proveïdor	Quantitat	Preu unitari [€]	Descompte	Preu total amb descompte [€]
TGPR-22W-7V-56S	Tegmart	20	57,50	10%	1.035,00
Waspote + SigFox	Cooking Hacks	10	228,00	5%	2.166,00
Pt-S12D6-10M	Gasteiz	10	32,67	20%	261,36
LTC2983	Linear Tech.	10	27,84	10%	250,56
Cable antena	RS Components	10	12,40	5%	117,80
Encapsulat		10	24,90	15%	211,65
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	30	0,89	5%	25,37
Dissipador d'alumini	RS Components	20	31,87	5%	605,53
Conductor d'alumini	RS Components	20	47,12	5%	895,28
<b>COSTOS INDIRECTES</b>					<b>306</b>

Taula 1.8 - Preu material per la fase d'implementació.

Total costos material = 6.125 €.

**Capítol III: Amortitzacions**

Les amortitzacions del projecte, es poden veure a la Taula 1.9.

<b>MATERIAL</b>	<b>Preu [€]</b>	<b>Període d'amortització [projectes]</b>	<b>TOTAL [€]</b>
Ordinador	700	3	233
Mobiliari	500	3	167
Eines	200	3	67
Impressora	150	3	50
<b>TOTAL</b>			<b>517</b>

Taula 1.9 - Preu amortitzacions.

**1.4. Pressupost global.**

El pressupost global del projecte, després dels parcials analitzats en aquest capítol, és el següent:

**Preu del projecte de disseny amb marge i I.V.A. :**

Total capítol I = 32.120 €.

Total capítol III = 517 €.

Total amb marge i I.V.A. = 59.236 €

**Preu del projecte d'implementació amb marge i I.V.A. :**

Total capítol I = 31.720 €.

Total capítol II = 6.125 €.

Total amb marge i I.V.A. = 48.082 €.

**PREU TOTAL PROJECTE = 107.318 €**

## 2. Anàlisi de rendibilitat.

S'ha realitzat l'anàlisi seguint la línia argumental que el Tub Verd té periòdicament avaries de fuga a les canonades soterrades al llarg de la ciutat de Mataró, concretament 1 avaria cada 2 anys de mitjana. Per a resoldre les avaries del sistema, el Tub Verd té un cost molt elevat comparant-lo amb el cost que tindria al haver implementat el projecte de millora del control de dades del sistema mitjançant una xarxa de sensors sense fils, ó WSN, alimentats elèctricament per els generadors termoelèctrics.

La diferència entre el cost de la solució de l'avaria sense el projecte de millora, amb el cost de la solució de l'avaria amb el projecte de millora implementat, es tracta com un benefici econòmic del Tub Verd per l'anàlisi de la rendibilitat. L'argumentació es pot observa amb més detall a l'ANNEX 5 de l'avantprojecte.

Es considera que el Tub Verd té el límit de temps d'amortització de la inversió del projecte de millora de control del sistema en 10 anys. A la Taula 2.1, es pot observar el detall de l'anàlisi econòmic, per seguidament, calcular el VAN, la TIR i l'ICB, que demostren la rendibilitat econòmica del projecte.

	1 ANY	2 ANY	3 ANY	4 ANY	5 ANY	6 ANY	7 ANY	8 ANY	9 ANY	10 ANY
<b>INGRESSOS</b>	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270
<b>COSTOS</b>	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
<b>AMORTITZACIONS</b>	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122	8.478,122
<b>BENEFICIS ABANS D'IMPOSTOS [BAI]</b>	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9	13.831,9
<b>BENEFICIS NETS [BN]</b>	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1	11.757,1
<b>CASH-FLOW</b>	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2	20.235,2

Taula 2.1 - Taula de rendibilitat econòmica del projecte.

El detall de la Taula 2.1, és, a la fila d'ingressos s'ha considerat l'estalvi de cost que genera aplicar la millora que representa el projecte, repartint-lo entre 2 anys, degut a que es

considera que hi haurà una avaria cada 2 anys de mitjana. Els costos indiquen la quota de connexió SigFox anual, que representa 10 €/mes per connexió genèrica, i 7 €/mes per unitat DAQ. Les amortitzacions representen la inversió inicial sense I.V.A., entre els anys que estan disposats a amortitzar la inversió.

Amb les dades anteriors, s'ha realitzat l'anàlisi del període de temps on la inversió del Tub Verd quedarà amortitzada. S'ha considerat un interès per als primers 5 anys d'un 2,7% i d'un 2,3% els últims 5 anys. S'ha estimat també, la taxa d'inflació dels primers 5 anys en 2,1% i en 1,6 les dels últims 5 anys.

Per calcular el VAN s'ha de tenir en compte la inversió inicial [ $C_0$ ], el *cash-flow* anual [ $C_n$ ], l'interès anual [ $i_n$ ], i taxa d'inflació [ $g_n$ ]. El càlcul del VAN, es pot veure a l'expressió (2.1).

$$VAN = -C_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n * (1+g)^n} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} VAN = & -84.781,22 + \frac{20.235,2}{1,027 * 1,021} + \frac{20.235,2}{1,027^2 * 1,021^2} + \frac{20.235,2}{1,027^3 * 1,021^3} + \frac{20.235,2}{1,027^4 * 1,021^4} \\ & + \frac{20.235,2}{1,027^5 * 1,021^5} + \frac{20.235,2}{1,023^6 * 1,016^6} + \frac{20.235,2}{1,023^7 * 1,016^7} + \frac{20.235,2}{1,023^8 * 1,016^8} \\ & + \frac{20.235,2}{1,023^9 * 1,016^9} + \frac{20.235,2}{1,023^{10} * 1,016^{10}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} VAN = & -84.781,22 + 19.297,96 + 18.404,123 + 17.551,69 + 16.738,74 + 15.963,44 + 15.224,06 \\ & + 14.518,92 + 13.846,44 + 13.205,11 + 12.593,48 = \mathbf{119.641,88 \text{ €}} \end{aligned}$$

Es pot observar que la inversió inicial estarà completament assolida abans dels 10 anys, concretament s'assoleix al cinquè any.

L'ICB indica la relació cost-benefici, i es pot veure a l'expressió (2.2).

$$ICB = \frac{VAN}{C_0} = \frac{119.641,88}{84.781,22} * 100 = \mathbf{141,12\%} \quad (2.2)$$

La taxa interna de retorn ó TIR, permet saber quin és el percentatge del interès màxim que el client pot acceptar per poder assolir la inversió inicial. S'ha realitzat els càlculs amb software específic, amb un resultat de:

**TIR = 20 %.**

Amb l'anàlisi de rendibilitat econòmica, es pot determinar que el projecte es rentable econòmicament.



### **3. Desviacions econòmiques.**

Les desviacions econòmiques més importants han estat:

- Increment al cost de la fase de disseny de 4.792 €. Aquest increment ha estat degut al increment d'hores de treball de la tasca de desenvolupament de la solució. Aquest increment no ha modificat l'entrega del projecte.
- Decrement al cost de la fase de implementació de 7.232 €. Aquest decrement ha estat degut a la reducció de material referent a les cèl·lules termoelèctriques, ja que les necessitats han estat reduïdes.
- Les dues anteriors desviacions econòmiques han resultat com a un decrement del cost total del projecte de 2.440 € menys, per tant, el cost total del projecte és de 107.318 €.





# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**Avantprojecte**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



# Índex.

Índex de figures.....	III
Índex de taules.....	V
Glossari de termes. ....	VII
1. Objecte.....	1
2. Antecedents i necessitats d'informació.....	3
2.1. Energy Harvesting. ....	3
2.1.1. Tecnologies Energy Harvesting. ....	5
2.2. Efecte termoelèctric. ....	7
2.2.1. Efecte Seebeck. ....	7
2.2.2. Efecte Peltier. ....	9
2.2.3. Efecte Thompson.....	10
2.2.4. Cèl·lules termoelèctriques.....	12
2.3. Transferència tèrmica.....	19
2.3.1. Conducció.....	20
2.3.2. Convecció.....	20
2.3.3. Radiació.....	21
2.4. Projectes i aplicacions termoelèctriques. ....	22
2.5. Tub Verd Mataró. ....	29
2.5.1. Descripció.....	30
2.5.2. Funcionament. ....	31
2.5.3. Resultats actuals. ....	32
3. Abast.....	33
4. Objectius i especificacions tècniques.....	35
5. Generació i plantejament de possibles alternatives de solució. ....	37
6. Selecció de l'alternativa més adequada. ....	39
7. Anàlisi de viabilitat. ....	41
7.1. Viabilitat tècnica. ....	41
7.2. Viabilitat econòmica. ....	52
7.3. Viabilitat mediambiental.....	54
8. Desenvolupament de la solució.....	59

9. Planificació del projecte.....	63
10. Pressupost.....	71
10.1. Amidaments.....	71
10.2. Quadre de preus. ....	73
10.3. Pressupost parcial. ....	74
10.4. Pressupost global. ....	77
11. Referències. ....	79

## Índex de figures.

Fig. 2.1 - Total de dispositius connectats a IoT. Font: SEMICO Research.....	4
Fig. 2.2 - Principals tecnologies de EH. Font: Article Piezoelectric Energy Harvesting Solutions [5].....	5
Fig. 2.3 - Potències de les principals tecnologies de EH. Font: Texas Instruments. ....	6
Fig. 2.4 - Representació efecte Seebeck.....	8
Fig. 2.5 - Representació gràfica de l'efecte Peltier. ....	9
Fig. 2.6 - Representació gràfica de l'efecte Thompson. Font: www.researchgate.net .....	11
Fig. 2.7 - Estructura de muntatge per cèl·lula termoelèctrica. Font: nergiza.com .....	13
Fig. 2.8 - Esquema exemple d'una cèl·lula termoelèctrica en mode refredador. Font: ScienceProg. ....	15
Fig. 2.9 - TEC model HP-127-1.4-1.5-74. Font: TE Technology INC. ....	16
Fig. 2.10 - Esquema exemple de funcionament d'un TEG. Font: OTE Materials.....	17
Fig. 2.11 - TEG model TE-MOD-22W7V-56. Font: TEGPro. ....	18
Fig. 2.12 - Equivalent de Thevenin d'un TEG.....	19
Fig. 2.13 - Smartwatch PowerWatch de Matrix. Font: www.powerwatch.com .....	23
Fig. 2.14 - HEAT-R i exemple d'instal·lació del mòdul de AEInnova. Font: AEInnova.....	24
Fig. 2.15 - Verificacions del projecte TEGMarine. Font: TEGma. ....	25
Fig. 2.16 - Anàlisi d'energia consumida d'un automòbil. Font: [29]. ....	26
Fig. 2.17 - implementació Thermagy a TATA Steel. Font: RGS Development. ....	28
Fig. 2.18 - gSKIN de l'empresa GreenTEG. Font: GreenTEG. ....	29
Fig. 2.19 - Mapa de distribució del Tub Verd. Font: www.tubverd.cat. ....	30
Fig. 2.20 - Fases del Tub Verd. Font: Mataró Energia Sostenible (MES).....	32

Fig. 7.1 - Relació dels diferents dispositius TEG analitzats: A.- Kryotherm TGM-127-2.0-1.3. B.- TEGpro TGPR-22W-7V-56S. C.- Marlow TG12-8-01LS. ....	41
Fig. 7.2 - Xbee de Digi. Font: <a href="http://xbee.cl/">http://xbee.cl/</a> .....	43
Fig. 7.3 - Possibles topologies de xarxa de XBee. Font: Digi International...	44
Fig. 7.4 - Topologia estàndard SigFox. Font: Libelium. ....	45
Fig. 7.5 - Cobertura SigFox mundial. Font: <a href="http://www.sigfox.com">www.sigfox.com</a> . ....	46
Fig. 7.6 - Cobertura SigFox a Espanya. Font: <a href="http://www.sigfox.com">www.sigfox.com</a> . ....	46
Fig. 7.7 - Mòdul SigFox de Libelium. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	47
Fig. 7.8 - Topologia xarxa LoRaWAN. Font: <a href="http://www.lora-alliance.org">www.lora-alliance.org</a> .....	48
Fig. 7.9 - Mòdul LoRaWAN de Libelium. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	48
Fig. 7.10 - Waspnote de Libelium. Font: <a href="http://www.libelium.com">www.libelium.com</a> . ....	50
Fig. 7.11 - Sonda Pt100 de Remberg, model Pt-S12D6-10M. Font: <a href="http://www.linkersystem.com">www.linkersystem.com</a> . ....	51
Fig. 7.12 - LTC2983 de Linear. Font: <a href="http://experimentalavionics.com">experimentalavionics.com</a> .....	51
Fig. 8.1 - Proposta de distribució d'unitats d'adquisició de temperatura al llarg del Tub Verd.....	59
Fig. 8.2 - Solució esquemàtica general. ....	60
Fig. 8.3 - Muntatge de TEGs per aprofitament d'energia tèrmica de la canonada. ....	61
Fig. 8.4 - Etapa d'adquisició, conversió i enviament de la unitat. ....	62
Fig. 9.1 - Gantt de la fase de disseny. ....	67
Fig. 9.2 - Gantt de la fase d'implementació. ....	69

## Índex de taules.

Taula 6.1 - Rúbrica de valoració de la solució sobre sensors no cablejats sense bateries.....	39
Taula 6.2 - Rúbrica de valoració de la solució sobre sensors en xarxa wireless.....	40
Taula 7.1 - Taula anàlisi TEGs. ....	42
Taula 7.2 - Comparativa dels 3 mètodes de comunicació. ....	49
Taula 7.3 - Taula de rendibilitat econòmica del projecte.....	53
Taula 7.4 - Accions d'impacte a les fases del projecte.....	56
Taula 7.5 - Factors ambientals d'impacte. ....	56
Taula 10.1 - Hores dedicades al disseny del projecte. ....	71
Taula 10.2 - Hores dedicades a la implementació del projecte.....	72
Taula 10.3 - Material del projecte.....	72
Taula 10.4 - Relació preus per hora dels recursos emprats en disseny i implementació del projecte. ....	73
Taula 10.5 - Preus de material necessari per la implementació del projecte. 74	
Taula 10.6 - Pressupost parcial de la fase de disseny. ....	75
Taula 10.7 - Pressupost parcial de la mà d'obra a la fase d'implementació..	76
Taula 10.8 - Preu material per la fase d'implementació. ....	76
Taula 10.9 - Preu amortitzacions. ....	77





## Glossari de termes.

AC	Corrent alterna.
Bi <sub>2</sub> Te <sub>3</sub>	Bismut-Tel·lur.
BOE	Bolletí oficial de l'Estat.
CH <sub>4</sub>	Metà.
CO <sub>2</sub>	Diòxid de carboni.
COP	Coefficient of Performance – Coeficient de rendiment.
CTRSUM	Consorci pel Tractament de Residus Sòlids Urbans del Maresme.
CTVRSU	Consorci de Tractament i Valorització de Residus Sòlids Urbans.
Cu-Bi	Coure-Bismut.
DC	Corrent contínua.
DHC	<i>District Heating and cooling.</i>
EDAR	Estació d'Aigües Residuals.
EH	<i>Energy Harvesting.</i>
EM	Electromagnètiques.
EUA	Estats Units d'Amèrica.
ICB	Índex de cost – beneficis.
IEEE	Institut d'Enginyeria Elèctrica i Electrònica.
IMO	<i>International Maritime Organization</i> – Organització Marítima Internacional.
IoT	<i>Internet of Things</i> – Internet de les coses.
IVA	Impost sobre el valor afegit.
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network.</i>
MESH	Topologia de comunicació tipus malla.
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration.</i>
ONU	Organització de les Nacions Unides.

ORC	Cicle Orgànic de Rankine.
PbTe	Tel·lur de Plom.
PERR-TO-PEER	Topologia de comunicació punt a punt.
QFD	<i>Quality Function Deployment</i> – Desplegament de la funció de qualitat.
RF	Radio freqüència.
RTD	<i>Resistance Temperature Detector</i> – Detector de temperatura resistiu.
SiGe	Silíci-Germani.
SM	Semiconductor.
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i> .
Tc	Temperatura cara freda.
TC	<i>Turbo-Compound</i> .
TEC	<i>Thermoelectric cooler</i> – Generador tèrmic.
TEG	<i>Thermoelectric generator</i> – Generador termoelèctric.
Th	Temperatura cara calenta.
TIR	Tassa interna de retorn.
VAN	Valor actual net.
VOC	Voltatge en circuit obert.
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i> .
WSN	<i>Wireless sensor network</i> - xarxa de sensors sense fils.
Z	Figura de Mèrit.
ZT	Figura de Mèrit expressada conjuntament amb la mitjana de la temperatura.

# 1. Objecte.

L'objecte d'aquest projecte és l'estudi de la viabilitat sobre l'aprofitament de l'energia tèrmica de rebuig del Tub Verd, projecte sostenible situat a la ciutat de Mataró. L'energia tèrmica recollida per mitjà de cèl·lules termoelèctriques fabricades segons el principi de Seebeck, s'utilitzarà per dissenyar una xarxa de sensors, autònoms i sense bateries.

Es desenvoluparà la viabilitat tècnica, econòmica i mediambiental de la capacitat d'aprofitament de l'energia tèrmica de rebuig que es desprèn del circuit del Tub Verd, on circula aigua calenta d'impulsió a 85-90 °C, i així alimentar elèctricament sensors distribuïts a distàncies determinades al llarg del circuit, per mesurar paràmetres físics d'interès pel projecte.

L'autonomia total dels sensors sense cables ni bateries aportarà el disseny d'una xarxa de comunicació *wireless* per l'enviament de dades obtingudes pels sensors, i dirigides al centre de control del Tub Verd, creant així una xarxa de sensors autònoms ó *Wireless sensor network* (WSN).

Amb la WSN, s'introdueix una nova manera d'interpretació de l'adquisició de dades físiques, on s'elimina la utilització de bateries per alimentar elèctricament els sensors, i es descarta qualsevol tipus de cablejat o consum elèctric del sistema, sent així una solució sostenible. La xarxa es crearà amb una topologia viable i un protocol eficient, la qual aconseguirà un enviament i centralització de dades òptim.

El projecte està motivat per la millora continua en el desenvolupament de materials de cèl·lules termoelèctriques, que impliquen un increment d'eficiència en l'adquisició d'energia tèrmica, fet que contribueix a donar un nou impuls a la necessitat global de desenvolupament de solucions tecnològiques sostenibles.



## 2. Antecedents i necessitats d'informació.

Des de que existeix la humanitat, ha hagut de consumir energia per la seva supervivència. Tan per a bo com per a dolent, l'energia ha representat, i representa, un pilar de la societat.

En tota l'evolució humana, les necessitats creixents d'energia han comportat diferents mètodes d'extracció i d'ús, juntament amb diferents tipus de fonts del recurs. Aquesta creixent i imparabile tendència, també representa un efecte molt negatiu pel Planeta, ja que moltes d'aquestes fonts d'energia utilitzades, principalment les fòssils, resulten molt contaminants i tenen data d'extinció.

És per aquest motiu que en les últimes dècades, la tendència de la societat és la aposta per energies renovables i sostenibles. Les més conegudes, com poden ser la eòlica o la solar, responen a demandes de nivell mitja o alt d'energia, en canvi, la societat cada vegada viu amb més dispositius electrònics de baix consum, gràcies als avenços de la tecnologia, on aquestes necessitats responen a nivells baixos de consum.

Aquest fet, ha generat una nova manera d'interpretar l'energia, un nou concepte, conegut com *Energy Harvesting*.

### 2.1. Energy Harvesting.

El terme *Energy Harvesting* (A partir d'ara, EH), es refereix al procés pel qual s'aprofita l'energia residual present a l'ambient per produir energia elèctrica, que pot ser emmagatzemada o utilitzada per alimentar petits dispositius elèctrics o electrònics de baix consum o de baixa potència, amb l'objectiu de poder subministrar energia a dispositius autònoms i sense fils [1]. La traducció literal del concepte és collita d'energia, sent molt significant.

Els dispositius autònoms que funcionen amb alimentació elèctrica, necessiten de bateries o sistemes d'emmagatzematge d'energia pel seu correcte funcionament. El concepte EH, permet poder eliminar les bateries d'aquests dispositius, el resultat d'això suposaria la reducció d'un contaminant immens actual, o des d'una altra perspectiva: significaria poder

allargar la vida útil de les bateries d'aquests dispositius, ja que els cicles de càrrega/descàrrega es reduïrien considerablement.

Actualment, hi ha un clar augment de necessitats d'obtenir cada vegada més informació sobre sistemes domèstics, industrials, entre d'altres, per optimitzar la pròpia gestió d'aquests sistemes [2]. Un concepte innovador, per exemple, és el de *Internet of Things* ó IoT, que augura un futur pròxim on tots els dispositius transmeten informació del que controlen, i poden ser gestionats remotament. Amb EH aplicat, es podria aconseguir que a més, fossin autònoms i sense fils. La evolució dels dispositius IoT es pot veure a la Fig. 2.1.

Un exemple del mencionat, és ZigBee [3], que és una aliança que crea un llenguatge de comunicació sense fils, de baix consum, creat perquè els dispositius es comuniquin entre si, i puguin ser controlats remotament. A més, distribueixen dispositius de molt baix consum habilitats per la seva xarxa.

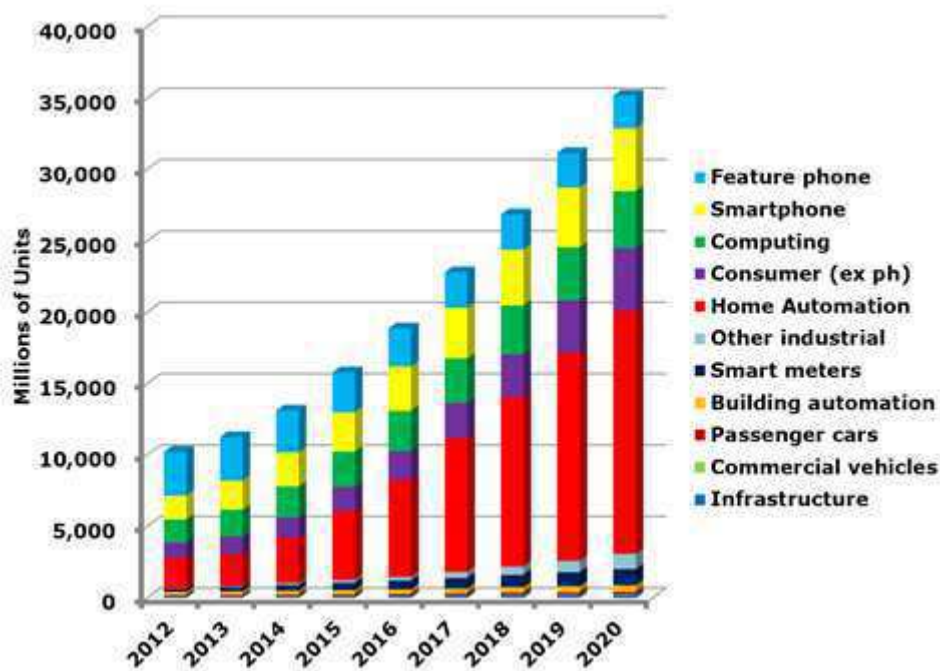


Fig. 2.1 - Total de dispositius connectats a IoT. Font: SEMICO Research.

Les necessitats són tan clares i creixents, que un estudi en diferents segments preveu un augment de 288.088 milions de dòlars al 2017, fins a 591.531 milions de dòlars al 2022 sobre el mercat de sistemes EH, segons RESEARCH AND MARKETS [4].

### 2.1.1. Tecnologies Energy Harvesting.

Les principals tecnologies de collita d'energia són, les vibracions, l'energia solar o llum, l'efecte tèrmic i l'energia de les ones electromagnètiques de radio freqüència, tal com es veu a la Fig. 2.2 següent.

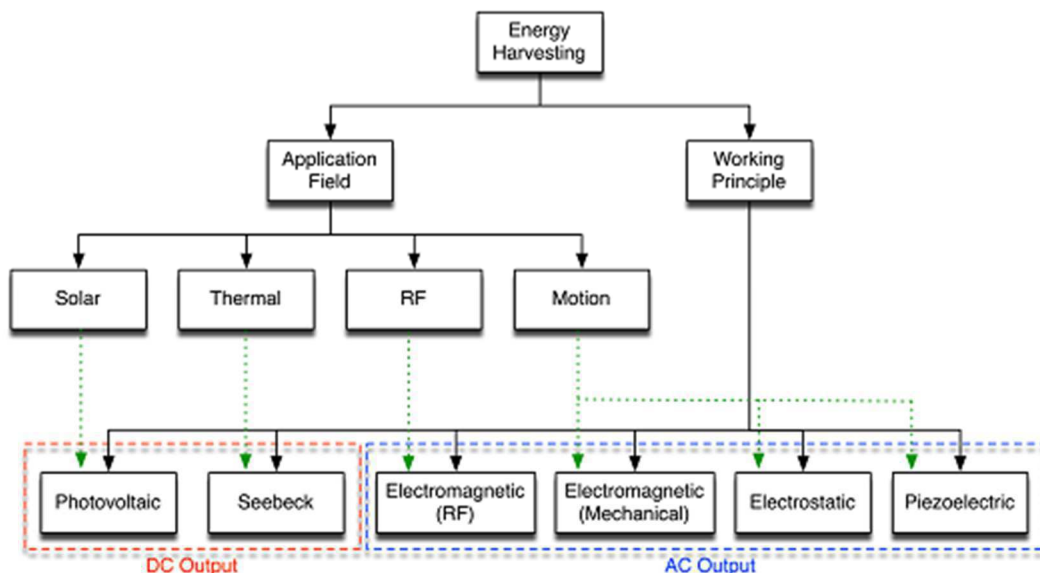


Fig. 2.2 - Principals tecnologies de EH. Font: Article Piezoelectric Energy Harvesting Solutions [5]

**Energia solar o llum:** El mitjà més conegut és la recollida d'energia que irradia el Sol, a través de les cèl·lules solars. Aquestes cèl·lules transformen la radiació electromagnètica en la banda de l'infraroig tèrmic del Sol, en energia elèctrica.

Un exemple d'aquesta tecnologia es pot trobar al parc solar de El Casar, a la província de Guadalajara, que subministra 13 MW d'energia elèctrica per alimentar a 7.200 habitatges de la província [6].

**Energia de Radio Freqüència (RF):** Es tracta de transformar l'energia de les ones electromagnètiques (EM) dins de l'interval freqüencial corresponent al de la RF que emeten infinitat de dispositius, en energia elèctrica. S'ha de tenir en compte que el nombre d'emissors d'ones de radio continua creixent, per tant, és una font d'energia en contínua expansió.

Per exemple, la marca PowerCast® comercialitza el xip Px110 915MHz RF Powerharvester™, que pot generar fins a 5,25 V de sortida, amb un corrent de 50 mA, amb el senyal de RF del ambient [7].

**Energia del moviment o de vibracions:** Es tracta de recol·lectar energia de vibracions de motors industrials, moviments d'objectes, moviments del cos humà o d'animals. Els sensors recol·lectors són piezoelèctrics, que transformen aquesta energia de moviment en energia elèctrica.

PAVEGEN, és una empresa anglesa que realitza projectes per aconseguir energia elèctrica mitjançant les petjades de persones al carrer [8].

**Energia tèrmica:** Es tracta de capturar l'energia tèrmica residual en molts sistemes, i transformar-la en energia elèctrica. Aquesta transformació es realitza mitjançant materials termoelèctrics o piroelèctrics, que serien els encarregats de realitzar la captació i transformació, que detecten variacions o gradients de temperatura i ho processen. Aquests materials respondrien a l'efecte termoelèctric.

L'empresa alemanya Micropelt, comercialitza solucions i productes per automatitzar el control de temperatura domèstic mitjançant l'efecte termoelèctric, i amb la possibilitat d'enviar dades mitjançant comunicació ZigBee [9].

Les quantitats d'energia aproximada que es poden recol·lectar, de les quatre principals tecnologies del EH, es poden veure a la Fig.2.3.

Energy Source	Characteristics	Efficiency	Harvested Power
Light	Outdoor Indoor	10~24%	100 mW/cm <sup>2</sup> 100 μW/cm <sup>2</sup>
Thermal	Human Industrial	~0.1% ~3%	60 μW/cm <sup>2</sup> ~1-10 mW/cm <sup>2</sup>
Vibration	~Hz-human ~kHz-machines	25~50%	~4 μW/cm <sup>3</sup> ~800 μW/cm <sup>3</sup>
RF	GSM 900 MHz WiFi	~50%	0.1 μW/cm <sup>2</sup> 0.001 μW/cm <sup>2</sup>

Fig. 2.3 - Potències de les principals tecnologies de EH. Font: Texas Instruments.



La present memòria tracta sobre una de les tecnologies de EH, concretament la del reaprofitament d'energia tèrmica mitjançant recol·lectors termoelèctrics. Es per això que la documentació en endavant, és més concisa sobre l'efecte termoelèctric.

Les fonts d'energia ambiental més comuns són els processos industrials i la tecnologia, ja que sempre tenen pèrdues. Per exemple, en centrals elèctriques, quasi tota l'energia al món és generada per motors tèrmics, que són turbines accionades per gas o vapor, i aquesta energia mecànica és convertida en elèctrica [10].

La indústria a Europa crema cada any 63 milions d'euros i els llança a l'atmosfera.

Traduint això en termes energètics [11]:

**Al voltant del 65% d'energia consumida en processos productius, es rebutja en forma d'emissions. Generalment, es perd en xemeneies i en conductes de transport, i suposa, només a Europa, prop del 21% de tota l'energia consumida.**

## **2.2. Efecte termoelèctric.**

L'efecte termoelèctric és la conversió d'una diferència de temperatura sobre materials termoelèctrics en voltatge elèctric, i l'inrevés. La NASA, per exemple, va utilitzar l'efecte termoelèctric per primera vegada als anys 70, per generar energia per a les sondes Voyager, que 40 anys després, encara alimenten els seus circuits mitjançant aquest efecte.

A moltes fonts d'informació, l'efecte termoelèctric es pot trobar com efecte Peltier-Seebeck, tot i que aquest efecte es pot dividir en tres efectes diferenciats: efecte Peltier, efecte Seebeck, efecte Thomson.

### **2.2.1. Efecte Seebeck.**

El primer efecte descobert, relacionat amb la termoelectricitat, va ser l'efecte Seebeck. El físic que el va descobrir, va ser l'alemany Thomas Johann Seebeck, que va començar a investigar sobre la relació entre la calor i l'electricitat. Va ser al 1921, quan estava soldant dos materials diferents (Cu-Bi) i aplicant calor a un d'ells, va observar que es generava un

camp elèctric entre ells, i que si aquest calor se li aplicava a la unió dels materials, es generava una diferència de potencial entre ells [12], tal com es veu a la Fig.2.4.

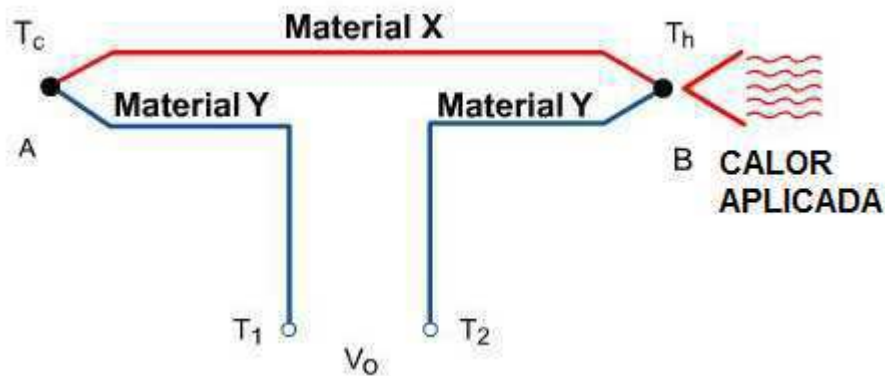


Fig. 2.4 - Representació efecte Seebeck.

Connectant una càrrega per a tancar el circuit obert de l'extrem fred entre els dos materials, es genera un corrent i un voltatge continu sobre la càrrega, que és proporcional a la diferència de temperatura entre la part calenta i la freda. Aquesta generació d'energia elèctrica no té cap pas entremig de correcció, és per això que l'energia termoelèctrica és classificada com una conversió d'energia directe [13].

És important realitzar l'observació que el corrent generat en circuit tancat, depèn de la resistència dels conductors i de la càrrega, en canvi, la força electromotriu generada és únicament funció de la diferència de temperatura entre les unions i de la natura dels materials [14].

Seguint la mateixa terminologia de la representació de l'efecte Seebeck exposat a la Fig.2.4., es defineix doncs, com a coeficient Seebeck ( $\alpha$ ) l'expressió (2.1).

$$\alpha_{XY} = \frac{(V_{T1} - V_{T2})}{(T_h - T_c)} = \frac{V_o}{\Delta T} \quad (2.1)$$

On el coeficient de Seebeck dels materials X i Y és  $\alpha_{xy}$ , la força electromotriu generada per l'efecte Seebeck és  $V_o$ , i la diferència de temperatura entre la unió calenta i freda és  $\Delta T$ .

### 2.2.2. Efecte Peltier.

Aquest efecte termoelèctric va ser descobert al 1834, pel físic francès Jean Charles Athanase Peltier, denominat com l'efecte Peltier.

L'efecte Peltier va sorgir sobre la base del efecte Seebeck, el qual consisteix en l'escalfament o refredament d'una unió entre dos materials diferents al circular una intensitat elèctrica a través d'ella. Si el sentit d'aquesta corrent canvia, també canvia el sentit del flux de calor. És a dir, si s'aplica un corrent elèctric a una unió de dos materials diferents en un sentit, la unió cedirà calor, i al invertir aquest corrent, la mateixa unió absorbrà calor, per tant, es refredarà [14]. La representació d'aquest efecte es pot veure a la Fig. 2.5.

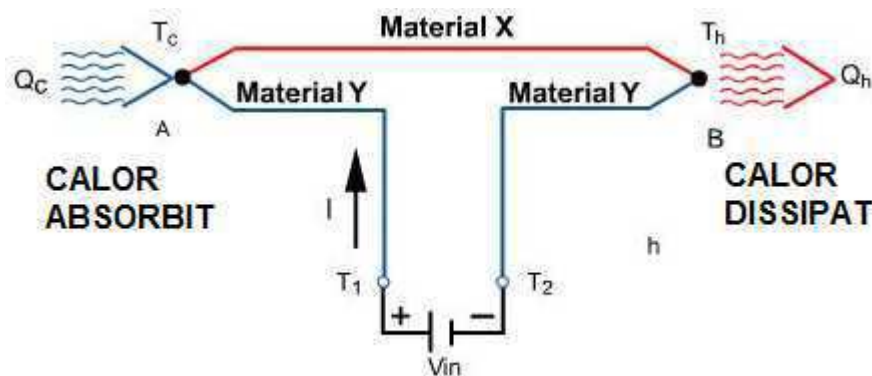


Fig. 2.5 - Representació gràfica de l'efecte Peltier.

És important realitzar l'observació, que aquest efecte és reversible i independent de la forma i dimensions dels conductors. Depèn només de la composició dels materials i de la temperatura de la unió.

Aquesta dependència resulta ser, també, lineal i és descrita pel coeficient de Peltier ( $\pi$ ), que es defineix com el calor generat en la unió entre el material X i Y per unitat de corrent elèctric, càrrega positiva, que circula del material Y al material X.

Seguint la mateixa terminologia de la representació de l'efecte Peltier exposat a la Fig.2.5., es defineix doncs, com a coeficient Seebeck ( $\pi$ ), l'expressió (2.2).

$$\pi_{XY} = \frac{Q}{I} \quad (2.2)$$

On el coeficient Peltier del material X i Y, és  $\pi_{xy}$ , la calor generada o absorbida és  $Q$ , i la intensitat elèctrica que circula a través de la unió dels materials X i Y és  $I$ .

El fet de que el calor de la unió sigui proporcional al corrent elèctric, i no al corrent elèctric al quadrat, marca la diferència respecte l'efecte Joule [14].

L'efecte Joule és el fenomen que s'observa al circular un corrent elèctric per un conductor, i part de l'energia cinètica d'aquest electrons en moviment és dissipada en forma de calor que genera el propi material conductor. Aquest efecte és irreversible.

En el cas en que es vulgui fer un escalfament o refredament mitjançant l'efecte Peltier, si es fa circular un corrent elèctric suficientment gran pels materials que produeixen la unió per l'efecte Peltier, a part d'escalfar o refredar per aquest efecte, es produiria un escalfament per efecte Joule. Cosa que pot generar errors de mesures o discrepància entre la temperatura que es vol aconseguir, i la que es mesura.

### **2.2.3. Efecte Thompson.**

L'efecte Thompson va ser descobert pel físic i matemàtic William Thompson, també conegut com Lord Kelvin, al 1.947-54.

Aquest efecte termoelèctric consisteix en l'absorció o alliberació de calor per part d'un conductor homogeni, amb temperatura no homogènia, pel que circula un corrent elèctric. Aquest calor alliberat, és proporcional al corrent, no al seu quadrat (efecte Joule), i és per això que canvia de signe a l'invertir el sentit del corrent [14].

S'absorbeix calor al fer passar corrent elèctric des del punt més fred, al més calent, i s'allibera calor quant el flux de corrent va del més calent al més fred. La representació d'aquest efecte, es pot veure a la Fig. 2.6.

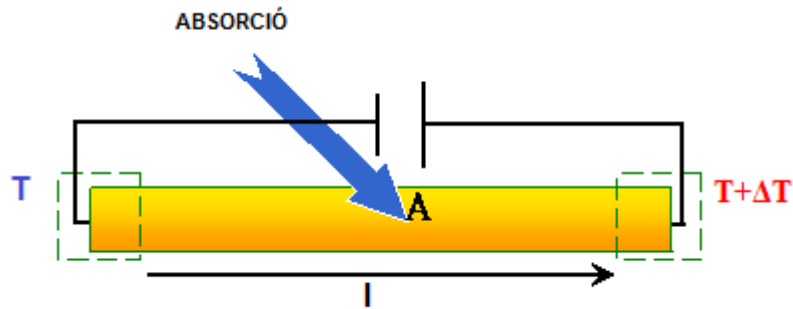


Fig. 2.6 - Representació gràfica de l'efecte Thompson. Font: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)

Es pot observar que aquest efecte es produeix sobre un sol material, i no cal cap unió de dos materials diferents, com el que s'ha vist als efectes anteriors, Peltier i Seebeck.

El coeficient Thompson ( $\tau$ ), expressa que per la injecció de corrent elèctric  $I$ , produeix un gradient de temperatura ( $\partial T/\partial x$ ), que indueix una velocitat d'escalfament o refredament ( $\partial Q/\partial x$ ) per unitat de longitud [12]. Tal com es veu a (2.3).

$$\tau = \frac{\frac{\partial Q}{\partial x}}{I \frac{\partial T}{\partial x}} \quad (2.3)$$

Les relacions entre els coeficients termoelèctrics poden determinar-se per els principis de la termodinàmica irreversible. Aquestes relacions, que determina Thompson, són conegudes com les lleis de Kelvin [15], tal com es veu a 2.4. i a 2.5.

$$\pi_{XY} = \alpha_{XY} T \quad (2.4)$$

$$\tau_X - \tau_Y = T \frac{\partial \alpha_{XY}}{\partial T} \quad (2.5)$$

L'efecte Joule, és per suposat, un efecte a considerar també, quant es treballa amb l'efecte Thompson.

#### **2.2.4. Cèl·lules termoelèctriques.**

Les cèl·lules termoelèctriques, també anomenades cèl·lules Peltier, són dispositius que consisteixen en un array de semiconductors tipus p, que són els que presenten un dèficit d'electrons, i tipus n, que són els que presenten un excés d'electrons. Aquests semiconductors (SM) estan connectats elèctricament en sèrie, i tèrmicament en paral·lel. L'array de SM s'aïlla elèctricament de l'exterior per a dos plaques de ceràmica, el qual és un material amb una conducció tèrmica molt elevada, cobrint cada cara tèrmica del dispositiu [13]. Aquest muntatge es pot observar a la Fig.2.7.

Per a la construcció d'aquestes cèl·lules, s'utilitza principalment Bismut-Telur per al material dels semiconductors, fortament dopat pel tipus n i dèbilment dopat pel tipus p [16].

Aquests dispositius poden treballar tant en efecte Peltier (generadors tèrmics ó TEC), com en efecte Seebeck (generadors termoelèctrics ó TEG), encara que els fabricants dissenyen específicament pel seu ús específic. Presenten avantatges tals com multitud d'aplicacions, no tenen manteniment, la seva vida útil és molt llarga, són silenciosos, són modulars fàcilment acoblables, entre d'altres.

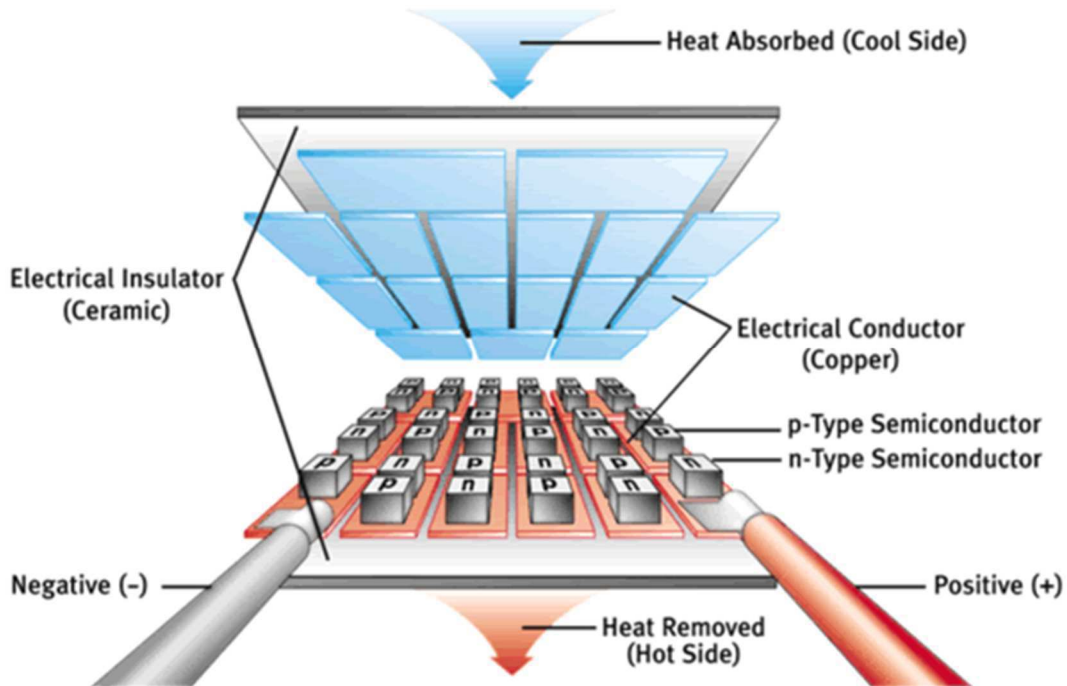


Fig. 2.7 - Estructura de muntatge per cèl·lula termoelèctrica. Font: nergiza.com

Com a terme general, i funcionant tant com a escalfadores/refredadores ó com a generadors elèctrics, existeixen bàsicament dos paràmetres genèrics a tenir en compte en una cèl·lula termoelèctrica:

- El *Coefficient of Performance*, coeficient de rendiment ó COP. El COP respon a la quantitat de calor bombejada o de traspàs  $Q$ , dividida entre la energia elèctrica subministrada  $P_{in}$ . Expressa quantes unitats de calor de traspàs s'obtidran per cada unitat d'energia elèctrica que es subministri [17]. Tal com es veu a (2.6).

$$COP = \frac{Q}{P_{in}} \quad (2.6)$$

En general, el coeficient de rendiment, es troba entre 0,4 i 0,7 per aplicacions d'una sola etapa. No obstant això, es poden aconseguir COP més alts amb mòduls termoelèctrics optimitzats i personalitzats.

- La Figura de Mèrit ó Z. Aquest paràmetre és influència únicament de característiques del semiconductors, i afecta directament al rendiment de la cèl·lula termoelèctrica. La Z relaciona la conductivitat elèctrica  $\sigma$ , amb el coeficient de Seebeck  $\alpha$  i amb la conductivitat tèrmica  $k$  [18]. És pot observar l'expressió (2.7).

$$Z = \frac{\sigma \alpha^2}{k} \quad (2.7)$$

És més comú expressar aquest paràmetre multiplicat per la mitjana de la temperatura [19], com es veu a (2.8).

$$ZT = \frac{\sigma \alpha^2}{k} \frac{(T_h - T_c)}{2} \quad (2.8)$$

Valors de  $ZT=1$  es consideren bons, de  $ZT= 3$  ó  $4$  són valors essencials perquè la termoelectricitat sigui un competidor de la generació mecànica i la refrigeració en eficiència [20].

Actualment, hi ha una tendència a la millora de  $ZT$  amb nous materials i nous semiconductors anomenats *Skutterudites*.

Les cèl·lules termoelèctriques, com ja s'ha mencionat, poden tenir infinitat d'aplicacions. Seguidament, es mostren algunes de típiques:

- Deshumidificadors.
- Petits refrigeradors, com poden ser neveres petites.
- Refrigeració de làsers quirúrgics.
- Generadors d'energia elèctrica per a dispositius de baix consum.
- Refrigeració en circuits o dispositius electrònics.
- Entre molts d'altres.

A continuació, es pot observar els principis de funcionament de les cèl·lules termoelèctriques com a mode de treball Seebeck o Peltier.



### Cèl·lula termoelèctrica per a escalfament/refredament

Quan una cèl·lula termoelèctrica s'utilitza per escalfar o refredar (Thermoelectric Cooler - TEC), el calor absorbit de la part freda es traspassa a la cara calenta, on es dissipa aquest calor, en una taxa proporcional al corrent que circula pel circuit i el nombre de parells de semiconductors existents a la cèl·lula.

Quant la cèl·lula funciona com a refredador, la part calenta resta connectada a un dissipador de calor, i amb l'aplicació de corrent contínua en el sentit adequat, la cara freda absorbeix calor per a traspassar-ho a la cara calenta on el dissipador ho subministrarà al ambient. Si treballa com a escalfador, el sentit del corrent ha d'ésser invers, i l'intercanvi de temperatura es realitza d'una cara freda, on hi ha una font de fred forçada (una de les fonts més utilitzades és una placa d'alumini), a una cara calenta, on es sol instal·lar un ventilador per a dissipar el calor per l'ambient.

El moviment d'electrons és contrari al sentit del corrent, per tant, quant el corrent passa d'un element dopat n a un element dopat p, els electrons van del p al n i la unió del p-n absorbeix el calor (cara freda).

Tanmateix, quant el corrent va del dopat p al dopat n, els electrons van del n al p, i la seva unió desprèn calor (cara calenta) [12]. Aquesta explicació es pot veure a la Fig. 2.8.

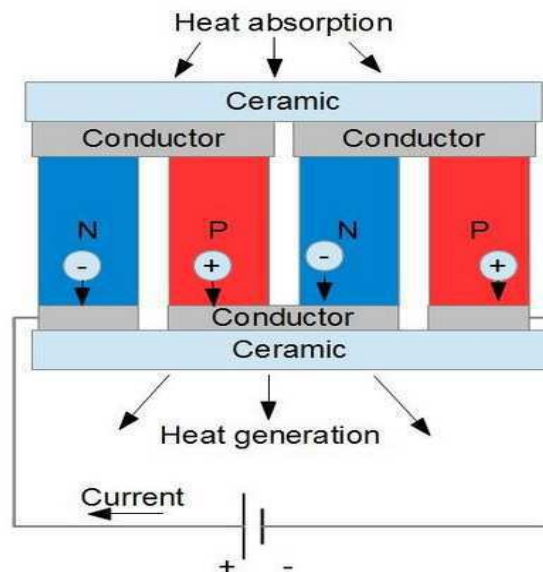


Fig. 2.8 - Esquema exemple d'una cèl·lula termoelèctrica en mode refredador. Font: ScienceProg.

Les TEC, són les més utilitzades en el mercat, degut al seu baix preu, i el seu gran camp d'aplicació, com per exemple el refredament a temperatura ambient, que és molt utilitzat [18].

Les característiques importants per a escollir TEC, són:

- **Q<sub>max</sub>**: La quantitat de calor que un TEC pot eliminar a diferència de temperatura de zero graus Celsius, quan el costat calent dels elements dins del mòdul termoelèctric es troba a 300 K.
- **I<sub>max</sub>**: És el corrent que produeix la màxima diferència de temperatura entre cares, quant la part calenta del TEC està a 300 K.
- **V<sub>max</sub>**: És el voltatge que produeix el màxim corrent que produeix la màxima diferència de temperatura entre cares, quant la part calenta del TEC està a 300 K.
- **DT<sub>max</sub>**: La diferència màxima de temperatura obtinguda entre el costat fred i calent del TEC quant s'aplica I<sub>max</sub> i no hi ha càrrega de calor aplicada al mòdul. Aquest paràmetre es basa en que el costat calent es troba a 300 K. En realitat, és pràcticament impossible eliminar totes les fonts de calor per aconseguir la veritable DT<sub>max</sub>. Per tant, el número només funciona com a indicador estàndard de la capacitat de refrigeració d'un mòdul termoelèctric.

Un exemple de TEC, es pot trobar al fabricant TE Technology INC. Per exemple una cèl·lula termoelèctrica refrigeradora de model **HP-127-1.4-1.5-74**, com es pot veure a la Fig.2.9.

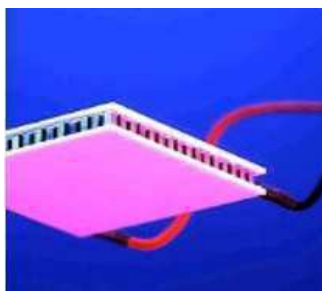


Fig. 2.9 - TEC model HP-127-1.4-1.5-74. Font: TE Technology INC.

Les característiques del model d'exemple són:

- $Q_{max} (W) = 65,0 W$  a  $27^{\circ}C$  cara calenta /  $71,3 W$  a  $50^{\circ}C$  cara calenta.

- $I_{max}$  (A) = 6,3 A a 27°C cara calenta / 6,3 A a 50°C cara calenta.
- $V_{max}$  (V) = 16,7 V a 27°C cara calenta / 18,5 V a 50°C cara calenta.
- $DT_{max}$  (°C) = 74°C a 27°C cara calenta / 84°C a 50°C cara calenta.

El full de característiques d'aquest TEC, amb les gràfiques de comportament, juntament amb una explicació d'interpretació de les gràfiques, es pot trobar a l'ANNEX 1.

### Cèl·lula termoelèctrica com a generador

Dos objectes a diferents temperatures posats en contacte intercanvien energia en un intent d'establir equilibri tèrmic. Qualsevol treball realitzat durant aquest procés, és la diferència de calor perduda per un objecte i guanyat per un altre objecte. Aquesta és la primera Llei de la Termodinàmica, en altres paraules, l'energia sempre es conserva.

Quant una cèl·lula termoelèctrica s'utilitza com a generador (Thermoelectric Generator - TEG), s'aplica una font de calor a la cara calenta del TEG. La font de calor conduirà electrons en l'element tipus-n, cap a la regió més freda, deixant "forats" en aquesta transició i fent que més electrons vulguin omplir aquests "forats" de l'element dopat p cap al n. Aquesta circulació d'electrons entre elements tipus n i p, fa que el TEG quedi polaritzat amb càrrega positiva i negativa al altre extrem, provocant així una diferència de potencial en els extrems del TEG. Tal com es veu a la Fig. 2.10.

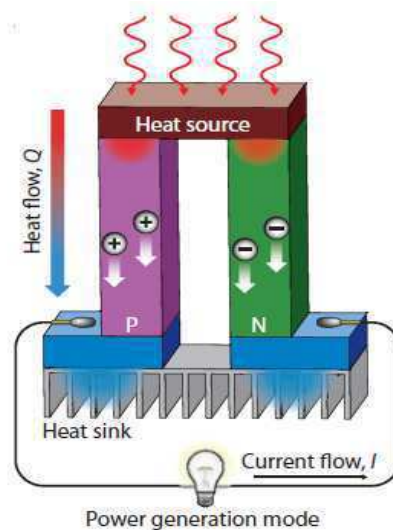


Fig. 2.10 - Esquema exemple de funcionament d'un TEG. Font: OTE Materials.

A l'hora d'escollir TEG per una aplicació, a part de considerar les condicions de contorn a les que estarà exposada la cèl·lula, com per exemple la temperatura màxima que suportarà, s'ha de tenir present alguns paràmetres importants, com poden ser:

- VOC: Tensió de sortida en circuit obert. S'ha de tenir en compte que disminuirà considerablement al connectar-li una càrrega.
- Resistència interna: Serà la resistència que oferirà el TEG al pas del corrent elèctric en circuit tancat. Aquesta resistència canviarà en funció de la temperatura d'intercanvi i de l'efecte Joule.
- Iout màxima: La corrent de sortida màxima que permet el TEG.
- Pout màxima: La potència màxima de sortida que permet el TEG.

Un exemple de TEG, es pot trobar a la marca comercial TEGPro, com per exemple el model **TE-MOD-22W7V-56**, com es pot veure a la Fig.2.11.



Fig. 2.11 - TEG model TE-MOD-22W7V-56. Font: TEGPro.

Les característiques del model d'exemple són:

- $VOC (V) = 14,4 V$ .
- $R (\Omega) = 2,4 \Omega$ .
- $I_{out} (A) = 3 A$ .
- $P_{out} (W) = 21,6 W$ .

El rendiment en els TEG també és un paràmetre molt important, ja que indica la relació entre la potència calorífica absorbida i la potència de sortida. Aquest paràmetre sol ser bastant

baix, del ordre del 5% al 10%. El full de característiques d'aquest TEG, amb les gràfiques de comportament, es pot trobar a l'ANNEX 2.

A manera de modelitzar un TEG de manera simple, aquesta cèl·lula es pot convertir en un equivalent de Thevenin, on la tensió de Thevenin és la tensió de Seebeck, i on l'equivalent tindrà un valor de resistència interna del TEG [18]. Es pot veure a la Fig.2.12.

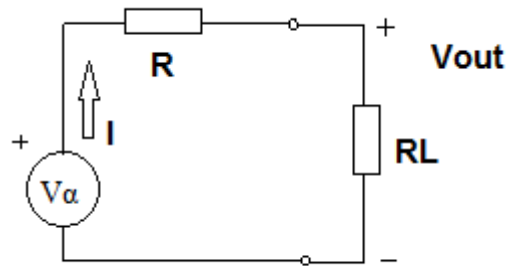


Fig. 2.12 - Equivalent de Thevenin d'un TEG.

Simplificant d'aquesta manera, el càlcul de la tensió de sortida del TEG, es pot veure a (2.9).

$$V_{out} = \alpha \Delta T - I R \quad (2.9)$$

La tensió de sortida  $V_{out}$ , és la tensió de Seebeck ( $\alpha \Delta T$ ) menys les pèrdues degudes a la resistència interna del TEG ( $I R$ ).

### 2.3. Transferència tèrmica.

L'energia calorífica es transmet des de les zones de més alta temperatura, a les zones de més baixa temperatura, amb un intent d'equilibrar tèrmicament el medi o material on es produeix la transferència [21]. La transmissió d'energia tèrmica es pot donar per mitjà de tres mecanismes bàsics: conducció, convecció i radiació.

### 2.3.1. Conducció.

L'energia calorífica es transmet durant el contacte directe entre cossos, o entre parts del mateix cos, amb una diferència de temperatura, i té lloc mitjançant xocs o acoblaments entre molècules del sistema. La conducció és de gran importància per a sòlids, però és de menor importància en líquids i gasos, on normalment apareix combinat amb la convecció i és, pràcticament, emmascarat per aquest mecanisme [21].

Quant en aquests sòlids existeix un gradient de temperatura en la direcció  $x$ , el calor es transmet de la part calenta a la freda, sent el flux de calor transmès  $Q_{cd} [W]$ , proporcional al gradient de temperatura  $\partial T/\partial x$ , i a la superfície  $A [m^2]$ , a través de la qual es transmet, i també, de la conductivitat tèrmica  $k [W/m K]$ . Aquesta relació per establir el flux de calor, es coneix com la llei de Fourier, i es pot observar a (2.10).

$$Q_{cd} = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2.10)$$

El signe negatiu, és conseqüència del Segon Principi de la Termodinàmica, segons el qual, el calor ha de fluir cap a la zona de temperatura més baixa. El gradient de temperatura és negatiu si la temperatura disminueix per valors creixents de  $x$ , pel que si el calor transferit en la direcció positiva ha de ser una magnitud positiva, en el segon membre de la equació s'ha d'introduir un signe negatiu.

### 2.3.2. Convecció.

Quant un fluid es posa en contacte amb una superfície sòlida a una temperatura diferent, el procés resultant d'intercanvi d'energia tèrmica es denomina convecció, i existeix de dos tipus, forçada o natural [22].

La convecció natural té com a força motriu la diferència de densitats del fluid, en canvi la convecció forçada, la força motriu és un element extern que fa circular aquest fluid.

Aquest mecanisme de transferència de calor només es produeix en fluids, on els àtoms i molècules són lliures de moure's pel medi. Definint la convecció com a  $Q_{cv} [W]$ , es troba que depèn d'un coeficient de convecció  $h [W/m^2 K]$ , de la superfície del sòlid que resta en

contacte amb el fluid  $A [m^2]$ , i de la diferència de temperatures entre la superfície  $T_s [K]$  i el fluid no afectat pel sòlid  $T_f [K]$ . Aquesta definició és coneguda com la llei de refredament de Newton, i es pot observar a (2.11).

$$Q_{cv} = h A (T_s - T_f) \quad (2.11)$$

El flux de calor per convecció és positiu si el calor es transmet des de la superfície del sòlid, al fluid, i és negatiu si la transferència de calor és al inrevés.

### 2.3.3. Radiació.

L'energia calorífica es transmet en forma d'energia de radiació electromagnètica, emesa per tots els cossos pel fet d'estar a una temperatura  $T$ , i es propaga a la velocitat de la llum, ja que és llum de diferents longituds d'ona, a més pot ser absorbida pels cossos, augmentant així la seva temperatura [21].

La quantitat d'energia, o flux de calor, que abandona una superfície  $A [m^2]$ , depèn de la temperatura absoluta  $T [K]$  i de la natura de la superfície. Un radiador perfecte, o cos negre, emet una quantitat d'energia radiant  $Q_r [W]$  de la seva superfície, tal com es veu a (2.12) [22].

$$Q_r = \sigma A T^4 \quad (2.12)$$

Es pot observar la constant  $\sigma$ , que és coneguda com la constant de Stefan-Boltzmann, i que equival a  $5,67 \times 10^{-8} [W/m^2 K^4]$ .

L'equació (2.12), sempre indica el valor menys restrictiu, ja que és definida com a cos negre. A la realitat existeix un factor  $\varepsilon$  com a propietat radiativa de la superfície, que s'anomena emissivitat, on el seu rang és  $0 < \varepsilon < 1$ , i es pot definir com una mesura de la eficiència amb la que la superfície emet energia radiant. Afegint la emissivitat, l'expressió es veu modificada, tal com es veu a (2.13).

$$Q_r = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2.13)$$

## **2.4. Projectes i aplicacions termoelèctriques.**

L'Unió Europea té com a objectiu fins al 2020, produir el 20% de la seva energia a partir de fonts renovables, aconseguint una reducció del 20% de les emissions de gasos d'efecte hivernacle i una millora del 20% en l'eficiència energètica respecte als nivells de 1990. Per assolir aquests objectius, el consum d'energia ha de disminuir, el que resulta en la reducció de les emissions [23].

L'activitat humana genera grans quantitats de calor residual, les quals són descarregades contínuament al medi ambient. No obstant això, la majoria d'aquestes fonts tèrmiques es troben a baixes temperatures (menors que 150 °C), la qual cosa impedeix la seva recuperació mitjançant generadors convencionals [24].

Seguidament, es mencionen aplicacions, projectes o empreses distribuïdores de productes EH tèrmics, que a l'actualitat, fan possible un camí cap a aconseguir l'objectiu d'una reducció del desapfitament d'energia que la societat viu.

### **Relotge de polsera termoelèctric**

Un dels problemes de portar dispositius portables, és la seva autonomia, i el rellotge de polsera no és una excepció. L'empresa Matrix ha dissenyat un model de rellotge batejat com a PowerWatch, que s'alimenta de l'energia termoelèctrica del propi cos.

La part TEG està col·locada a la part del rellotge que està en contacte amb la pell de la persona, mentre que la zona de la caràtula ha estat fabricada amb un material dissipador, per afavorir el flux de calor.

Disposa d'una petita bateria interna, concretament de 200 mAh, que serveix per a mantenir l'hora i la data si el rellotge deixa de tenir la font de calor. Conté funcions de SmartWatch, però només algunes, ja que de moment, l'energia generada pel circuit TEG es queda curta, tot i tenir la possibilitat de comunicació per Bluetooth amb el mòbil [25]. El rellotge es pot veure a la Fig.2.13.





Fig. 2.13 - Smartwatch PowerWatch de Matrix. Font: [www.powerwatch.com](http://www.powerwatch.com)

### **Unitats de recuperació energètica industrial**

L'empresa AEInnova, constituïda a finals del 2014, des dels inicis ha tingut una orientació cap a la investigació, la innovació i el desenvolupament de nous productes relacionats amb energies alternatives, els sensors i l'Internet de les coses.

Formant part de la Fundació Repsol, estan desenvolupant tota una gama de productes relacionats amb la generació d'energia elèctrica a partir del calor residual. Un dels seus productes més interessants, per la relació amb la present memòria, és les unitats de recuperació energètica, anomenades HEAT-R, que ja estan considerades per l'ONU com a un dels sistemes que podrien canviar el món.

Aquest producte està orientat a la millora de l'eficiència energètica i a la reducció de la petjada de CO<sub>2</sub> de la indústria. S'instal·len directament als tubs de sortida de residu tèrmic de la indústria, posant-los en sèrie, on s'aconsegueix recuperar el calor residual mitjançant l'efecte termoelèctric. La mostra del dispositiu, es pot veure a la Fig. 2.14.

Cal afegir, que aquest projecte està finançat SME Instrument Phase 1 de la Comissió Europea.



Fig. 2.14 - HEAT-R i exemple d'instal·lació del mòdul de AEInnova. Font: AEInnova.

### **Projecte TEGMarine**

El grup Scatec [26], és un grup d'empreses de Noruega, que té com a visió desenvolupar i implementar noves idees tecnològiques per produir energies renovables i materials avançats. Formant part d'aquest grup, destaca una empresa anomenada TEGma, ja que treballa en la línia d'aquesta memòria [27].

TEGma ha analitzat l'energia tèrmica residual que es produeix en el sector del transport, industrial i de l'automòbil, i desenvolupa nous materials i sistemes per aplicacions termoelèctriques d'alta temperatura, treballant en la línia de la reducció de la petjada de CO<sub>2</sub> que deixen aquests sectors, i aprofitant per a reduir el cost de l'energia produïda.

El primer sector marcat per aquesta empresa recuperadora d'energia tèrmica residual, és el sector de transport naval, essent un gran generador de calor residual, ja que la potència en les sales de màquines poden arribar a l'ordre de MW. Amb els sistemes de recuperació de calor residual, TEGma pretén reduir el consum de combustible un 3-5%, i acomplir l'objectiu de la IMO (*International Maritime Organization*) de reduir la petjada de CO<sub>2</sub> del transport naval, del 2.015 al 2.020 en un 10% [28].

Aquest projecte, anomenat TEGMarine, és la recerca i desenvolupament d'un sistema basat en TEG, d'alt rendiment, per la recuperació del calor residual dels sistemes d'escapament dels vaixells. Amb un finançament de 7,1 milions de Corones Noruegues des de 2.016 fins 2.018, per part de NFR i MAROFF.

Aquest projecte de desenvolupament, està en fase pilot a bord d'un vaixell de proves de 4 motors dièsel de 30 MW, amb un potencial d'estalvi d'energia pel sistema TEG de 1.000-2.000 tones de dièsel/any per vaixell.

Les verificacions realitzades a petita escala, són possibles per desviaments a les canonades de conducció de fluids, tal com es pot veure a la Fig.2.15.



Fig. 2.15 - Verificacions del projecte TEGMarine. Font: TEGma.

### **Varis exemples de AETEG (TEG en l'Automòbil)**

La recuperació d'una part d'energia tèrmica residual dels sectors del transport, en especial de l'automòbil, ja fa anys que s'està investigant per part dels investigadors internacionals. Aquests propòsits són deguts a dades de pèrdua energètica, tal com que en un automòbil d'usuari, es calcula que l'energia utilitzada per la propulsió del vehicle es només del 25% del total consumit. La resta són pèrdues de calor, escapament de gas, refrigeració, entre d'altres, com es pot veure a la Fig.2.16, següent.

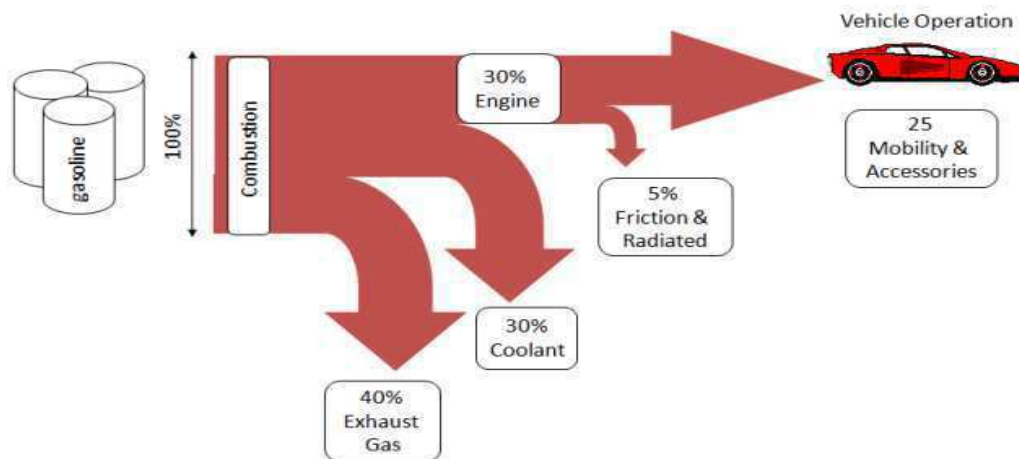


Fig. 2.16 - Anàlisi d'energia consumida d'un automòbil. Font: [29].

Tot i que el material termoelèctric comercial Bismut-Tel·lur ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) només té un 5% d'eficiència i un límit de temperatura del lateral calent de  $250\text{ }^\circ\text{C}$ , és possible generar energia elèctrica amb potència màxima d'1 kW a partir d'un motor. Si un automòbil està equipat amb un TEG de 500W de generació, un cotxe de passatgers té capacitat per estalviar més del 2% de consum de combustible i, per tant, reduir l'emissió de  $\text{CO}_2$ . Un TEG té l'avantatge que és una peça compacta i immòbil, en relació amb altres tecnologies de collita tèrmica, com ara el Cicle Orgànic de Rankine (ORC) i Turbo-Compound (TC).

S'estan duent a terme treballs de recerca intensos per millorar l'eficiència tèrmica dels materials termoelèctrics i augmentar el límit de temperatura de la part calenta. Es preveu que els futurs TEG tinguin una eficiència del 10% al 20%, i un límit superior de temperatura de  $500\text{ }^\circ\text{C}$  [23].

Els AETEG són generadors termoelèctrics d'escapament del automòbil, i seguidament, es mostren alguns èxits o esdeveniments en les línies d'investigació i desenvolupament dels AETEG [30].

En 1988, Porsche va desenvolupar un prototip per a la prova d'un AETEG, utilitzant el gas d'escapament i el sistema de circulació d'aigua del vehicle. El material del dispositiu que es va utilitzar va ser  $\text{FeSi}_2$ , i va ser connectat a un motor Porsche 944. Els resultats van tenir una bona cohesió amb els càlculs, per una diferència de temperatura de 490 K entre les parts freda i calenta de l'element. La potència de sortida era de 58 W per a 90 TEG. A més, els autors van suggerir que l'ús d'altres materials amb una major figura de mèrit, podria millorar la potència de sortida.

En 1.994, Hi-Z, realitza proves utilitzant vuit motors de camions dièsel finançats pel departament d'energia dels EUA i Califòrnia, *Energy Comissió*. El sistema AETEG, va utilitzar 72 mòduls que van ser produïts per Hi-Z, amb material Bismut-Telur. L'estudi va discutir sobre l'ús de  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$  ó  $\text{SiGe}$ , i va decidir que  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  tenia el millor rendiment, independentment del seu màxim de temperatura de funcionament. L'objectiu era arribar a 1 kW d'energia elèctrica i com a resultat, la potència màxima va ser d'uns 1.068 W, a 300 cv i 1.700 rpm.

Al 2.009, els investigadors de BMW, van desenvolupar prototip d'AETEG, basat en material  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ . El vehicle implicat, era un BMW 530i. Com a resultat de les proves, es va aconseguir al voltant de 200 W de potència elèctrica, mitjançant 24 mòduls TEG a 130 km/h. Finalment, es va afirmar que la futura potenciació dels generadors termoelèctrics anirà relacionada amb la millora de les qualitats dels materials per a la seva fabricació.

En 2.014, X. Liu *et al.*, va construir un sistema de recollida d'energia, que es va utilitzar en un tub d'escapament d'automòbil. Es va fer una prova de carretera en un vehicle prototip anomenat *Warrior*. La potència màxima aconseguida va ésser de 600 W de mitjana, amb una diferència de temperatura de 182 °C, mentre que l'eficiència del sistema era de l'1,25%. Finalment, es va recomanar que l'optimització del disseny seria fonamental per millorar el rendiment d'un AETEG.

### **Thermagy**

RGS Development, ha desenvolupat i comercialitzat Thermagy, uns panells a mida que, mitjançant la conversió termoelèctrica de l'efecte Seebeck, transformen l'energia tèrmica de rebuig en electricitat.

La peculiaritat d'aquest mòduls TEG, és que estan dissenyats per a treballar i recollir l'energia tèrmica d'indústria de processos d'alta temperatura. Tenen com a objectiu reduir la petjada de  $\text{CO}_2$  que realitza la indústria de processos, a més de reduir el consum energètic, per un model d'indústria més sostenible [31].

Aquests TEG estan preparats per a treballar amb fonts d'escalfor de 700 °C a 1.200 °C, amb un resultat de sortida de potència del ordre de 1,5 kW/m<sup>2</sup> – 2,5 kW/m<sup>2</sup>, depenen de la situació i distància que es col·loqui el TEG de la font de calor.

Les aplicacions són varies, com per exemple a la indústria de fundació d'acer, *TATA Steel*, s'ha implementat recuperació d'energia tèrmica mitjançant Thermagy [31], com es pot veure a la Fig.2.17.

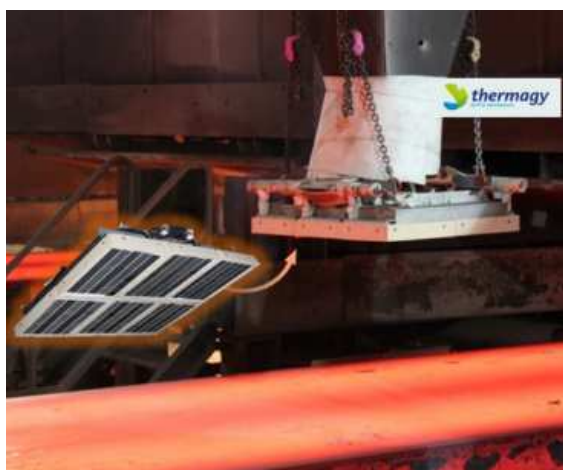


Fig. 2.17 - implementació Thermagy a TATA Steel. Font: RGS Development.

### **GreenTEG**

GreenTEG AG, va ser fundada al 2009 a Suïssa, i es dedica al desenvolupament, fabricació i comercialització de sensors tèrmics pel control de flux de calor, i potència ó posicionament làser. A més, ofereix consultoria sobre la integració tèrmica dels seus productes.

En el camp de la física de l'edificació, *U-Value* és el terme utilitzat per descriure el coeficient de transferència de calor d'un element de construcció, com per exemple, d'un mur. El *U-Value* descriu la qualitat d'aïllament d'un edifici. La unitat d'aquest coeficient és W/m<sup>2</sup>K. Com més petit sigui el coeficient, millor serà la qualitat d'aïllament de l'element de construcció.

Un dels productes més interessants d'aquesta empresa, és gSKIN, que no és més que un TEG amb un disseny específic per a la correcta mesura del *U-Value*. Aquest producte doncs, es

comercialitza amb un petit kit de muntatge i un software d'anàlisi, per obtenir les mesures corresponents del coeficient d'aïllament en el camp de l'edificació [32].

El gSKIN es pot veure seguidament, a la Fig.2.18.



Fig. 2.18 - gSKIN de l'empresa GreenTEG. Font: GreenTEG.

## 2.5. Tub Verd Mataró.

El *Tub Verd* respon una xarxa urbana de distribució de calor i fred mitjançant la circulació d'aigua per canonades soterrades, a partir de l'energia de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Mataró i del Centre Integral de Valorització de Residus del Maresme [33].

Aquest tipus de xarxa urbana s'anomena *District heating and cooling* (DHC), i es emprada des de fa molts anys a altres països europeus, com a Àustria (Viena), on és gestionada Wien Energie, Bulgària, on es situen una dotzena de sistemes que daten de 1.949 repartits en pobles i ciutats, ó Dinamarca, on el DHC cobreix més del 60% de la calefacció i l'escalfament d'aigua [34], entre d'altres països.

El projecte és impulsat per Aigües de Mataró, S.A. i Gas Natural Fenosa, i està relacionat amb l'Agenda 21 de la ciutat de Mataró.

És important per aquesta memòria, degut a que des del punt de vista adequat, aquesta xarxa de calor i fred que recorre la ciutat de Mataró, es pot entendre com una font d'energia per als TEG al llarg de la ciutat.



### 2.5.1. Descripció.

Com s'ha avançat al punt anterior, el Tub Verd és una xarxa urbana de calor i fred que transporta aigua calenta a 85-90 °C, i freda a 5-6 °C, a través de canonades d'acer aïllades tèrmicament, per evitar pèrdues tèrmiques, i sepultades sota terra. La iniciativa aprofita l'energia procedent de l'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Mataró i del Consorci pel Tractament de Residus Sòlids Urbans del Maresme (CTRSUM) [33].

El sistema escalfa aigua per a dutxes, piscines, així com l'aire per climatitzar totes les zones o generar el fred per a aire condicionat. Aquesta xarxa arriba tant a edificis públics com privats, com per exemple l'Hospital de Mataró ó el Tecnocampus, i fins i tot a habitatges particulars com al barri de la Renglera de Mataró, amb una llargada actual de 18,5 km de canonades i distribució tal com es pot veure a la Fig. 2.19., següent.

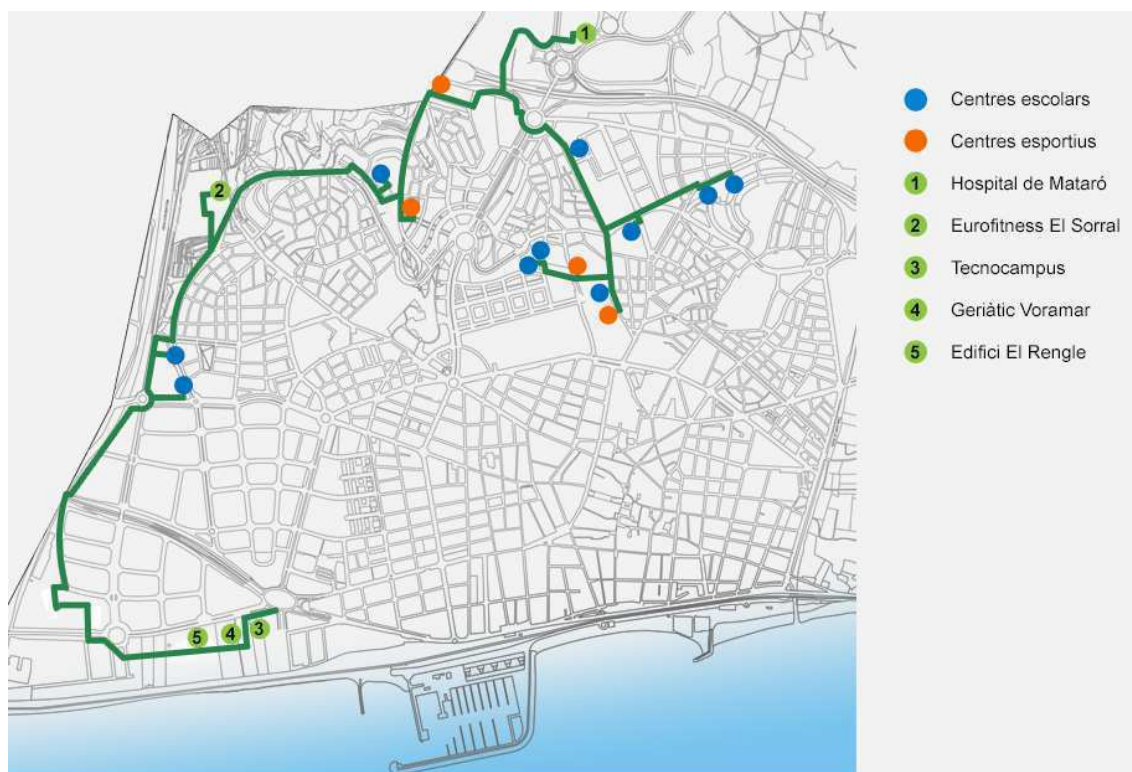


Fig. 2.19 - Mapa de distribució del Tub Verd. Font: [www.tubverd.cat](http://www.tubverd.cat).



### **2.5.2. Funcionament.**

El Tub Verd és un sistema tancat de recirculació d'aigua, amb un funcionament genèric molt similar al d'una calefacció domèstica clàssica. Concretant, es pot dividir en tres grans fases que divideixen el procés [35], tal com es pot veure a la Fig.2.20.:

Fase 1: La fase de recuperació. Aquesta fase consta de l'aprofitament d'energies residuals d'infraestructures ambientals a Mataró. Des de l'Estació d'Aigües Residuals (EDAR), s'aprofita l'energia tèrmica que genera la combustió del CH<sub>4</sub>, originat per la digestió anaeròbica de les aigües residuals de Mataró, que és bàsicament la descomposició del material biodegradable mitjançant bacteries [36]. Des del Consorci de Tractament i Valorització de Residus Sòlids Urbans (CTVRSU), s'aprofita l'energia tèrmica residual de la incineració de residus, que s'utilitza principalment per la generació d'energia elèctrica mitjançant generadors amb motors de vapor. Existeix un tercer possible assortiment d'energia, que és la caldera de gas natural, que s'utilitza per assegurar el servei de subministra, en cas de manca de recuperació dels altres dos mètodes.

Fase 2: Fase de transformació i producció. Pel circuit de calor, es manté la temperatura constant del circuit tancat, mitjançant l'aire calent de la crema del biogàs dels digestors de la EDAR, i el vapor ja utilitzat del CTVRSU. Pel circuit de fred, les màquines refredadores, pel mètode d'absorció o centrifugació, transformen en fred l'energia tèrmica aportada i mantenen la temperatura del circuit tancat d'aigua freda.

Fase 3: Distribució. Els circuits tancats d'aigua freda o calenta transporten l'energia tèrmica fins a l'usuari. Les instal·lacions de l'usuari final, consten d'un bescanviador que transfereix l'energia tèrmica de l'aigua del Tub Verd a l'aigua de l'usuari, sense tenir contacte. D'aquesta manera, es dona el servei tant com per climatització d'edificis, com per l'escalfament d'aigua d'ús domèstic.

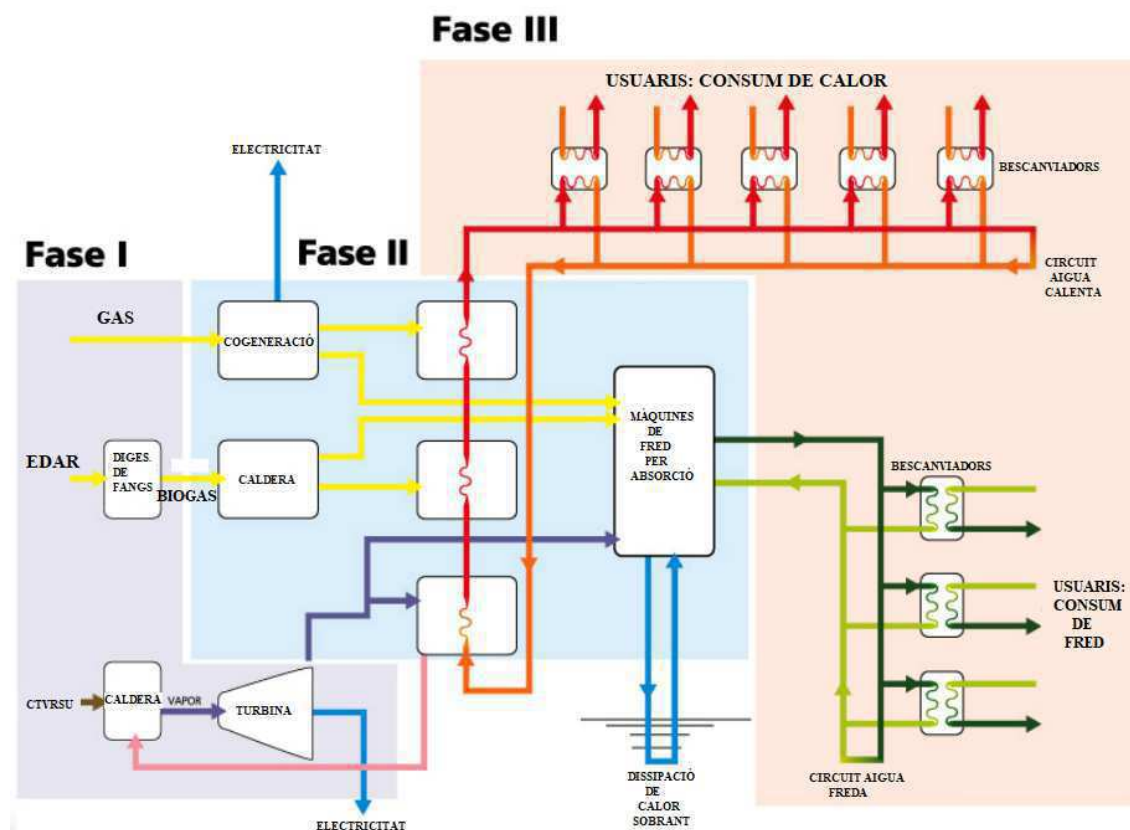


Fig. 2.20 - Fases del Tub Verd. Font: Mataró Energia Sostenible (MES).

### 2.5.3. Resultats actuals.

El Tub Verd subministra anualment 43.910.000 kWh d'energia tèrmica, equivalent al consum anual de 7.000 famílies. Redueix les emissions de CO<sub>2</sub> en 16.800 t/any. Genera un estalvi de 243.890 kWh/any elèctrics [33]. Amb aquestes dades, es pot assegurar que el Tub Verd és una solució energètica que respecta el medi ambient i minimitza les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

### 3. Abast.

Per la realització del projecte, cal definir les limitacions de les tasques. La informació de l'abast del projecte, és necessària per visualitzar de manera ràpida, les tasques que es realitzaran, i les que no. Seguidament, es detallen conceptes i tasques del projecte.

El projecte compren les etapes i fases següents:

- Estudi i càlcul d'extracció d'energia tèrmica del circuit tancat d'aigua calenta del Tub Verd, mitjançant l'efecte Seebeck que es produeix en una cèl·lula termoelèctrica.
- Mostra esquemàtica de topologia de col·locació dels TEG sobre la canonada.
- Cerca i argumentació de sensors de baix consum, sense bateria.
- Càlcul de capacitat i muntatge elèctric dels TEG per alimentar els sensors.
- Raonament dels paràmetres físics a adquirir del sistema, per un augment d'informació amb la menor inversió possible.
- Disseny d'una WSN viable pel sistema.
- Disseny d'una topologia viable de la WSN.
- Selecció i justificació del protocol de la WSN.
- Viabilitat econòmica, tècnica i mediambiental de la solució.

El projecte no inclourà:

- Disseny exhaustiu del mòdul i topologia de col·locació dels TEG sobre la canonada.
- En cas de no existir sensors amb el protocol del WSN, no s'encarrega de dissenyar plaques electròniques per a possibilitar la comunicació amb el sensor.
- No es dissenya ni s'estudia la configuració ni la trama del protocol escollit.
- No es realitza una prova amb un prototip, ni existeix cap prova a laboratori.
- No s'ha comptat amb el seguiment de la fase d'implementació, degut a que la implementació pertany a l'empresa constructora. Aquest projecte només mostrarà programació i cost de la fase d'implementació, per tal de tenir una justificació detallada per la viabilitat econòmica.



## 4. Objectius i especificacions tècniques.

Es defineixen els objectius del projecte, juntament amb les especificacions tècniques associades per assolir-los de manera més eficient.

- Disseny i estudi d'un sistema *Energy Harvesting* per mitjà de cèl·lules termoelèctriques, per aprofitar l'energia tèrmica de rebuig del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd.
  - Generadors termoelèctrics amb una bona eficiència.
- Alimentació elèctrica dels sensors del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd, per mitjà de generadors termoelèctrics, per tal d'obtenir sensors autònoms.
  - Topologia de muntatge dels TEG per maximitzar la conversió energètica.
  - Sensors de baix consum elèctric.
- Determinar les necessitats de paràmetres físics a obtenir a partir dels sensors, per un control òptim del sistema de distribució.
  - Minimitzar la varietat de sensors, maximitzant la informació.
- Disseny i estudi d'una topologia de sensors adequada, pel correcte subministrament de dades a la central del Tub Verd, aconseguint per tant, una WSN viable.
  - Protocol de comunicació *wireless* adient.
  - Distribució de sensors i elements de xarxa òptims.
  - Sensors amb capacitat de comunicació sense cables, o sistema amb aquesta capacitat i compatibilitat amb el sensor.
- Obtenir un millor control del Tub Verd, mitjançant una incorporació d'adquisició de dades, amb una solució sostenible.
  - Augment d'informació del sistema.
  - Sensors autònoms i sense bateries.

S'ha realitzat un anàlisi *Quality Function Deployment* (QFD), per determinar la importància dels objectius i les especificacions tècniques pel projecte de la memòria. El detall del anàlisi QFD, es pot trobar a l'ANNEX 3. Les conclusions extretes són les següents:

Els objectius més importants del projecte són, el de dissenyar i realitzar l'estudi d'un sistema EH per mitjà de cèl·lules termoelèctriques, per aprofitar l'energia tèrmica de rebuig del circuit tancat de distribució d'aigua calenta del Tub Verd, a més d'aconseguir alimentació elèctrica dels sensors del circuit tancat, per mitjà de generadors termoelèctrics, per tal d'obtenir sensors autònoms, i finalment amb una lleu menor importància que els dos objectius anteriors, el d'obtenir un disseny d'una topologia de sensors adient, per aconseguir un WSN viable. Per tant, els recursos invertits per assolir aquest objectius hauran de ser majors a la resta.

Les especificacions tècniques que són més rellevants, i que afecten a més d'un objectiu, són, la topologia de muntatge dels TEG per maximitzar la conversió energètica, a més de realitzar el projecte amb generadors termoelèctrics amb una bona eficiència, i treballar amb sensors de baix consum per a reduir l'exigència energètica dels TEG.

## 5. Generació i plantejament de possibles alternatives de solució.

S'ha realitzat un *brainstorming* per obtenir possibles solucions als punts principals del projecte. Les alternatives proposades tenen la finalitat d'acomplir i respectar el màxim possible els objectius, i les especificacions tècniques definides.

Les alternatives a la solució obtingudes, són les que es detallen a continuació:

1. **Sistema d'aprofitament i recollida d'energia:** no s'ha plantejat cap alternativa de solució en el principi d'extracció d'energia tèrmica, degut a que la motivació d'aquest projecte, és l'aprofitament d'energia tèrmica sobrant mitjançant cèl·lules termoelèctriques, basades en el principi de Seebeck. Per tant, el canvi en la metodologia d'*Energy Harvesting*, suposaria el replantejament i la definició del projecte des de la fase de conceptualització del mateix.
2. **Tipus d'alimentació de sensors:** es plantegen diferents solucions per l'alimentació elèctrica dels sensors. Aquests sensors s'incorporaran al Tub Verd pel compliment de l'objectiu de millorar el control del sistema mitjançant adquisició de dades.
  - a. Sensors no cablejats amb bateries: els sensors s'alimentaran de l'energia elèctrica convertida a partir de l'energia tèrmica, mitjançant els TEG. S'incorporarà una bateria al sensor, per dotar-lo d'autonomia en cas de que la font de collita d'energia no fos suficient.
  - b. Sensors no cablejats sense bateries: els sensors s'alimentaran de l'energia elèctrica convertida a partir de l'energia tèrmica, mitjançant els TEG. No s'incorporarà cap tipus d'element d'emmagatzemat d'energia, per tant, tota l'energia elèctrica serà la corresponent als TEG.
  - c. Sensors cablejats: els sensors s'alimentaran de l'energia elèctrica de la xarxa. S'haurà de cablejar tots els sensors distribuïts pel circuit tancat del Tub Verd. No s'incorporarà cap tipus d'element d'emmagatzemat d'energia.
3. **Tipus de xarxa de sensors:** es mostren les alternatives al tipus de xarxa de sensors. Aquesta varietat de xarxes és important, ja que s'haurà de tenir en compte pel tipus

de protocol que s'utilitzarà finalment al projecte. Determinarà també, la topologia dels sensors al llarg del circuit d'aigua calenta.

- a. Xarxa wireless: es crearà una topologia de sensors òptima, per la creació d'una xarxa sense cables per l'enviament dels paràmetres obtinguts pels sensors. La topologia i distribució serà definida juntament amb el protocol d'utilització.
- b. Xarxa semi-cablejada: es crearà una topologia i distribució de sensors òptima. S'instal·larà quadres elèctrics perifèrics de comunicació *wireless* al llarg del Tub Verd, distribuïts estratègicament, per poder transmetre els paràmetres obtinguts pels sensors. La comunicació de dades entre els sistemes perifèrics i els grups de sensors, es realitzarà amb cablejat elèctric, obtenint així una xarxa de sensors semi-cablejada.



## 6. Selecció de l'alternativa més adequada.

S'ha valorat i seleccionat l'alternativa més adequada, segons el criteri d'avaluació definit segons rúbriques. El criteri i les explicacions per la selecció, es poden trobar a l'ANNEX 4. Fent referència a l'apartat de generació i plantejament de possibles alternatives de solució de l'avantprojecte, es detallen les solucions triades.

### Tipus d'alimentació de sensors

La solució en el tipus d'alimentació dels sensors, és la de dissenyar el projecte amb sensors no cablejats i sense bateries. La valoració d'aquesta alternativa, es pot veure a la Taula 6.1.

<b>SENSORS NO CABLEJATS SENSE BATERIES</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	5	15
Innovació	2,5	4	10
Sostenible	3	5	15
Relació qualitat/cost	1,5	5	7,5
<b>TOTAL</b>			<b>47,5</b>

Taula 6.1 - Rúbrica de valoració de la solució sobre sensors no cablejats sense bateries.

La rúbrica mostra que compleix més d'un objectiu i especificacions tècniques, com són la implementació de sensors per un control òptim del sistema, dissenyar una *wireless sensor network* viable, i especificacions tècniques com sensors autònoms i sense bateries. El criteri de complir objectius i especificacions tècniques és molt valorat degut a la importància de l'apartat d'objectius.

Actualment, s'utilitzen sensors no cablejats, però molts funcionen amb bateries. La puntualització de dissenyar un sistema de sensorització sense bateries és molt més innovadora, a la par que sostenible.

**Tipus de xarxa de sensors**

La implementació de la xarxa de sensors, es realitzarà mitjançant el disseny d'una xarxa *wireless*. A la Taula 6.2, es detalla la valoració d'aquesta alternativa.

<b>XARXA WIRELESS</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	5	15
Innovació	2,5	2	5
Sostenible	3	5	15
Relació qualitat/cost	1,5	4	6
<b>TOTAL</b>			<b>41</b>

Taula 6.2 - Rúbrica de valoració de la solució sobre sensors en xarxa *wireless*.

La rúbrica mostra que compleix més d'un objectiu i especificacions tècniques, com són la implementació de sensors per un control òptim del sistema, dissenyar una *wireless sensor network* viable, i especificacions tècniques com sensors autònoms i sense bateries i protocol de comunicació *wireless*. El criteri de complir objectius i especificacions tècniques és molt valorat, com ja s'ha comentat, degut a la importància de l'apartat d'objectius.

No és una solució innovadora, ja que les xarxes *wireless* són molt utilitzades, i per descomptat també en el camp de la sensorització.

Queda valorada com una solució sostenible, ja que és respectuosa amb el medi ambient, té avantatges en l'àmbit social amb una millora de la qualitat del sistema, i és sostenible en l'àmbit de l'economia, ja que s'estalvia cablejat principalment, que pot arribar a tenir un cost molt elevat.

## 7. Anàlisi de viabilitat.

### 7.1. Viabilitat tècnica.

En aquest apartat, s'analitzaran els elements més importants que compondran el projecte, la seva definició per poder així determinar el model concret que s'haurà d'utilitzar pel desenvolupament del projecte. La informació dels elements analitzats es pot consultar en l'ANNEX 8.

#### Cèl·lules termoelèctriques (TEG)

Els TEG que s'utilitzaran al projecte, són molt importants, ja que són la base de la motivació del projecte. Com ja s'ha comentat a l'apartat d'antecedents i necessitats d'informació d'aquest avantprojecte, les característiques més importants a l'hora de seleccionar un TEG, són el voltatge en circuit obert (VOC), la resistència interna que ofereix el TEG al pas del corrent elèctric ( $R_i$ ), la intensitat de sortida amb una càrrega òptima ( $I_o$ ) i la potència de sortida amb la mateixa càrrega òptima ( $P_o$ ). Es farà ús d'aquesta mateixa línia d'argumentació per analitzar els propers 3 TEG de marques conegudes.

El primer TEG és de la marca Kryotherm amb referència TGM-127-2.0-1.3. El segon TEG és de la marca TEGpro amb referència TGPR-22W-7V-56S. El tercer i últim TEG respon a la marca Marlow amb referència TG12-8-01LS. Es pot observar l'aspecte físic de cadascun dels tres dispositius comentats a la Fig. 7.1.

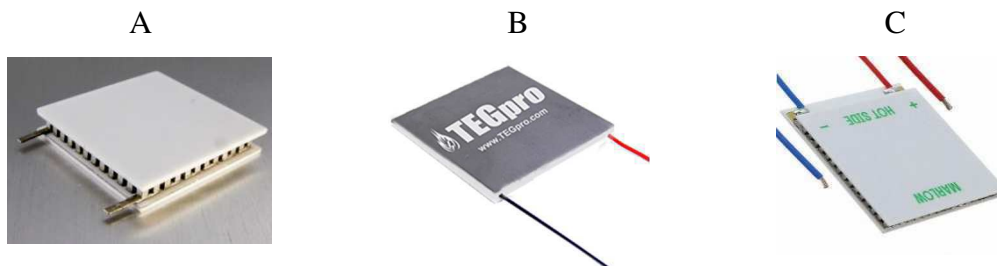


Fig. 7.1 - Relació dels diferents dispositius TEG analitzats: A.- Kryotherm TGM-127-2.0-1.3. B.- TEGpro TGPR-22W-7V-56S. C.- Marlow TG12-8-01LS.

Seguidament, es mostra els paràmetres dels tres models escollits, tal com es veu a la Taula 7.1. Aquest paràmetres han estat extrets de les gràfiques de comportament de dispositius, que es poden veure en l'ANNEX 8. El comportament particular del projecte, es considerat com a temperatura calenta ( $T_h$ ) de 85 °C, i temperatura cara freda ( $T_c$ ) de 30 °C, ja que són valors aproximats a la realitat del entorn del Tub Verd.

	<b>TGM-127-2,0-1,3</b>	<b>TGPR-22W-7V-56S</b>	<b>TG12-8-01LS</b>
<b>Voltatge circuit obert (VOC) [V]</b>	≈ 2,1	≈ 2,5	3,27 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Voltatge amb càrrega [V]</b>	≈ 1	≈ 1,2	1,86 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Corrent amb càrrega [A]</b>	≈ 1,6	≈ 0,7	1,48 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Potència amb càrrega [W]</b>	≈ 1,7	≈ 1,1	1,19 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Resistència interna a <math>T_h=85^\circ\text{C}</math>, <math>T_c=30^\circ\text{C}</math> [<math>\Omega</math>]</b>	≈ 0,62	≈ 1,8	2,9 (a $T_c=50^\circ\text{C}$ )
<b>Ample [mm]</b>	48	56	40
<b>Llarg [mm]</b>	48	56	40
<b>Profund [mm]</b>	3,6	5	3,5
<b>Preu [€]</b>	45,43	57,5	11,6

Taula 7.1 - Taula anàlisi TEGs.

Finalment, l'utilitzat serà el model **TGPR-22W-7V-56S** de TEGpro, degut a que el seu voltatge amb càrrega combinada és el més elevat, juntament amb la seva potència en condicions òptimes que arriba a 22 W, i a nivell d'informació, és una marca molt reconeguda. El model de Marlow s'ha descartat per a no disposar especificacions en temperatures a les quals engloben el projecte. El model de Kryotherm s'ha descartat, tot i ser millor en alguns paràmetres com per exemple la potència amb càrrega, per mostrar una fabricació de qualitat dubtosa i forta presència de falsificacions de producció a Internet. Com es pot observar, es valora molt, la fiabilitat del producte.

### Tipus de comunicació *wireless* i topologia de xarxa per als sensors

El tipus de comunicació *wireless* que s'utilitzarà pel disseny de la WSN, definirà la metodologia de transmetre la informació, la topologia de sensors, i la viabilitat del projecte. Respon per tant, a un element de selecció que determinarà els pròxims elements a la viabilitat tècnica.

El tipus de comunicació ha de ser de baix consum, sent important per la caracterització del projecte. Les xarxes *wireless* de baix consum més utilitzades a l'actualitat en el món IoT, són SigFox i LoRaWAN, caracteritzades com dues *Low Power Wide Area Network* (LPWAN), i una tercera que s'anomena ZigBee, classificada com una *Wireless Personal Area Network* (WPAN). Seguidament, es realitza un anàlisi per la selecció de la tipologia i topologia de xarxa que s'utilitzarà.

#### ZigBee:

ZigBee és un protocol de comunicacions *wireless* basat en l'estàndard de comunicacions per xarxes *wireless* IEEE\_802.15.4, creat per ZigBee Alliance [3], una organització teòricament sense ànim de lucre, de més de 200 empreses com Philips, Motorola, Mitsubishi, entre d'altres [37].

L'empresa Digi, distribueix mòduls anomenats XBee, que són solucions integrades per la comunicació entre dispositius basada en el protocol ZigBee [38]. Aquest mòdul, observar Fig.7.2, van ser dissenyats per aplicacions que requereixen un alt tràfic de dades, baixa latència i baix consum. El protocol ZigBee permet xarxes amb topologia tipus malla (MESH), punt a punt (PEER-TO-PEER) i arbre, veure Fig.7.3.



Fig. 7.2 - Xbee de Digi. Font: <http://xbee.cl/>

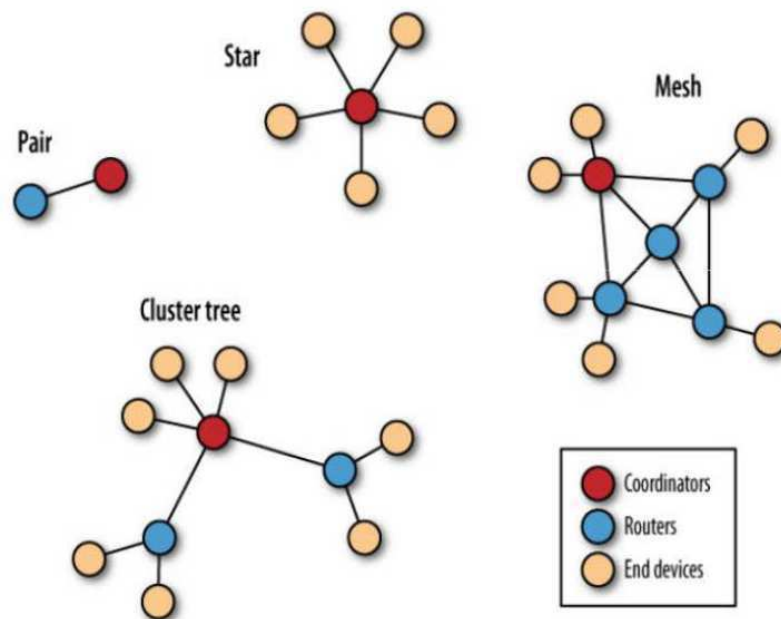


Fig. 7.3 - Possibles topologies de xarxa de XBee. Font: Digi International.

El protocol ZigBee es caracteritza per a tenir 3 elements clarament diferenciats a la xarxa: el coordinador, responsable de mantenir la xarxa i només pot haver-hi un; el router, que actua com a missatger i han d'estar connectats sempre; el dispositiu terminal, que pot enviar i rebre informació però no actua com a missatger d'un altre dispositiu.

Per a la comparativa entre possibles comunicacions de xarxa, s'utilitza els mòduls XBee basats en el protocol ZigBee. Aquests, es diferencien en diferents famílies o models, que treballen a diferents freqüències i presenten diferent abast de comunicació, però estan acotats per regions de treball certificades. Considerant que el projecte a realitzar està situat a la Unió Europea, l'elecció del model per la comparativa és el Digi XBee-PRO ZigBee [39].

El model escollit per a comparar de la família XBee, pot arribar a una distància de comunicació fins a 1,2 km, amb consums de 33 mA a la transmissió i 28 mA en recepció, amb una freqüència de funcionament a 2,4 GHz. La comparativa amb altres mètodes de comunicació, es detalla a la Taula 7.2.

### SigFox:

SigFox, empresa creada al 2.010, té com a objectiu de comunicar tots el objectes del món en un futur pròxim, aproximant l'ideal de IoT. SigFox crea una xarxa independent de radiofreqüència amb el seu nom, que on per connectar-se és necessari hardware compatible amb el tipus de comunicació [40]. Per fer possible aquest fet, treballa amb fabricants com Texas Instruments i Atmel, entre d'altres.

Dissenyada per IoT, la xarxa SigFox transmet missatges de 12 bytes, amb la capacitat d'enviar 140 missatges per dia. L'enllaç de radio utilitza bandes de ISM sense llicència, on les freqüències exactes poden variar segons les regulacions nacionals, però a Europa la banda és de 868 MHz [41]. L'abast d'aquesta comunicació per ràdio pot ser de 30-50 km en zones rurals, a 3-10 km en zones urbanes. La topologia de les xarxes SigFox, es mostra a la Fig.7.4.



Fig. 7.4 - Topologia estàndard SigFox. Font: Libelium.

La xarxa SigFox pot ser un complement de xarxes actuals, o pot actuar de manera independent. La manera de treballar pel projecte a desenvolupar, serà compartint xarxa amb operadors privats que siguin distribuïdors de SigFox. La xarxa està en continua expansió, es pot veure la cobertura mundial a la Fig.7.5, i la cobertura on es desenvoluparà el projecte, concretament a Mataró, a la Fig.7.6.

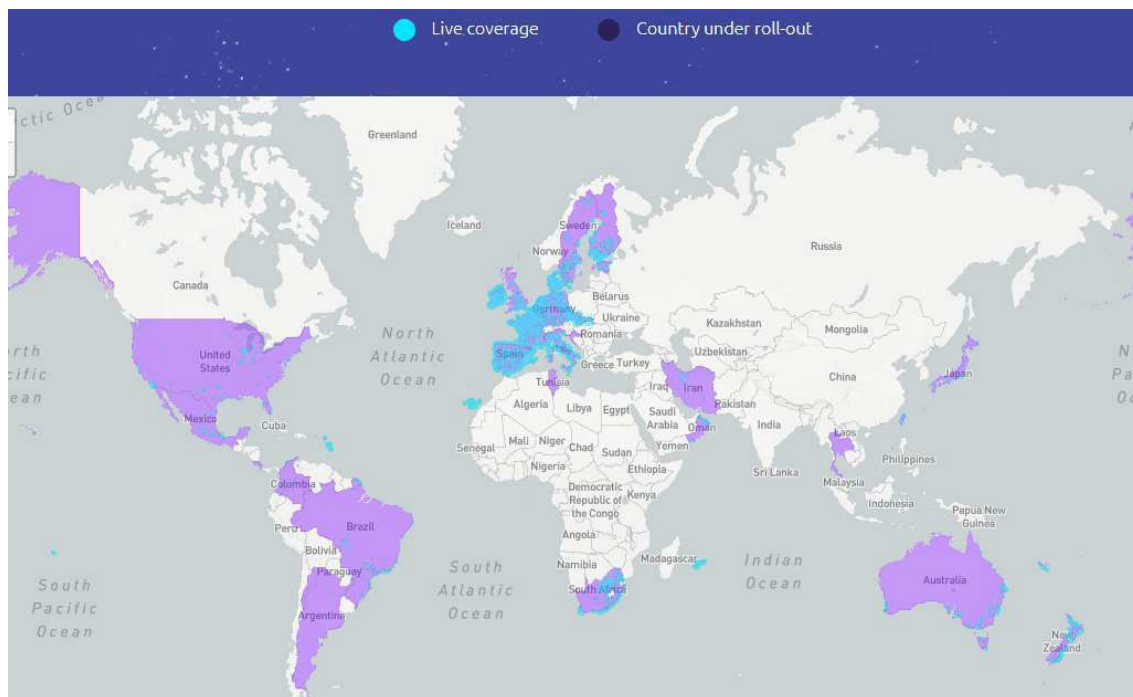


Fig. 7.5 - Cobertura SigFox mundial. Font: [www.sigfox.com](http://www.sigfox.com).



Fig. 7.6 - Cobertura SigFox a Espanya. Font: [www.sigfox.com](http://www.sigfox.com).

SigFox, a més, ofereix un API i un CLOUD SigFox com a interfície d'aplicació web per la gestió de dispositius i de dades.



Libelium fabrica mòduls SigFox amb un consum de 51 mA, es pot veure a la Fig.7.7.

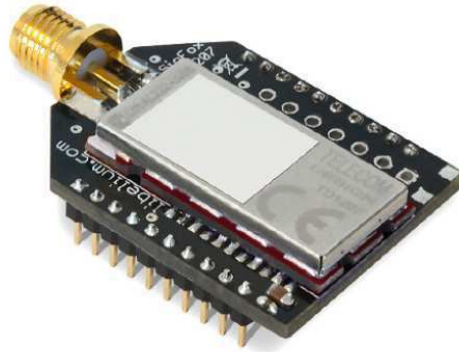


Fig. 7.7 - Mòdul SigFox de Libelium. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).

La comparativa amb altres mètodes de comunicació, es pot veure a la Taula 7.2.

#### LoRaWAN:

LoRa és un tipus de modulació en radiofreqüència patentat per Semtech. LoRaWAN és un protocol de xarxa que utilitza la tecnologia LoRa per comunicar i administrar dispositius compatibles amb LoRa. És una tecnologia Open Source i la seva estratègia està regida per la aliança LoRa [42].

Les xarxes LoRaWAN poden arribar a un abast de 10-15 km a camp obert, i es redueix en àmbit urbà a 2-5 km. Té una baixa transferència de dades, fins a 242 bytes, també dissenyada per a IoT, com SigFox. Pot operar com a xarxa independent o compartir xarxa amb operadors, com SigFox, però amb la diferència que a Espanya encara no consta oferta comercial. La seva freqüència és 868 MHz.

La topologia es pot veure a la Fig.7.8., es basa en nodes i portes d'enllaç o *gateways*. Les portes d'enllaç envien dades al CLOUD propi, també com SigFox, on poden ser gestionades.

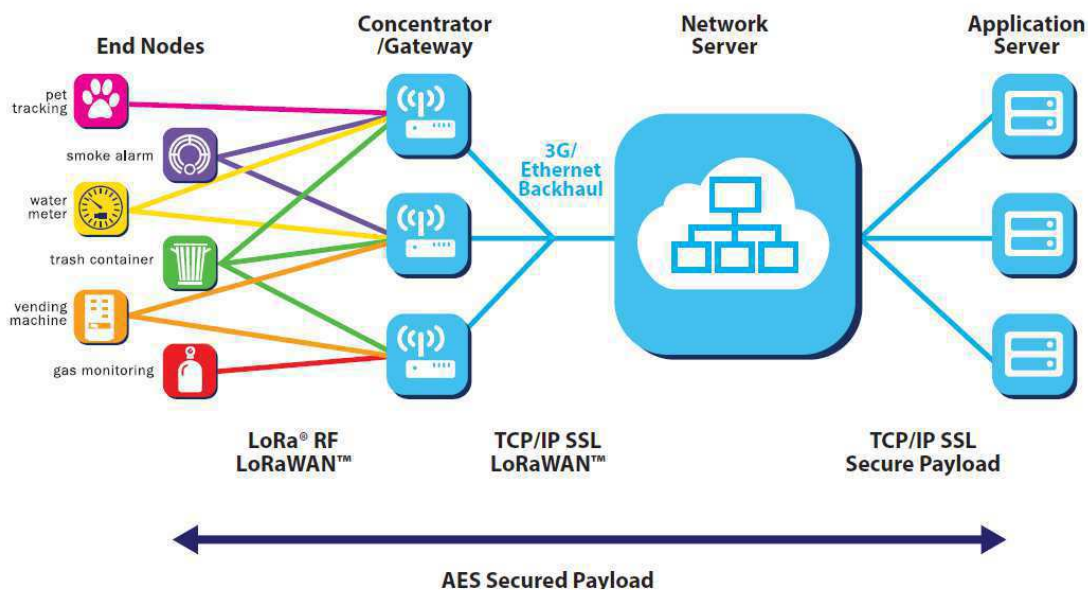


Fig. 7.8 - Topologia xarxa LoRaWAN. Font: [www.lora-alliance.org](http://www.lora-alliance.org).

Resumint, LoRaWAN és la competència directa de SigFox per ser molt similar i tenir el mateix objectiu d'acomplir el propòsit de IoT.

Libelium fabrica mòduls LoRaWAN amb un consum de 38,9 mA. Aquest mòdul es detalla a la Fig.7.9.



Fig. 7.9 - Mòdul LoRaWAN de Libelium. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).

La comparativa amb altres mètodes de comunicació, es pot veure a la Taula 7.2.

	Xbee	LoRaWAN	SigFox
<b>Abast comunicació [km]</b>	1,2	2 a 5	3 a 10
<b>Freqüència</b>	2,4 [GHz]	868 [MHz]	868 [MHz]
<b>Topologia</b>	Mesh Estrella P2P Arbre	Mesh Estrella P2P	Mesh Estrella P2P
<b>Consum [mA]</b>	33 / 28	38,9	51

Taula 7.2 - Comparativa dels 3 mètodes de comunicació.

El tipus de comunicació sense cables finalment seleccionada per la realització del projecte, és **SigFox**, degut a que és una xarxa dissenyada per a dispositius remots, amb un abast de comunicació acceptable per a xarxes urbanes i amb cobertura operativa a la zona del projecte.

XBee es descarta per considerar l'abast de la seva comunicació insuficient, i LoRaWAN es descarta per no tenir presencia d'operadors per oferir cobertura al territori català.

S'ha de tenir en compte que la comunicació seleccionada pel projecte, ha de transmetre informació de paràmetres físics dels sensors, per tant, es necessita un concentrador o col·lector de senyals elèctriques del sensor per després enviar-la per SigFox al Cloud. S'utilitzarà el mòdul hardware Waspote de Libelium, que presenta un consum de 17 mA i un voltatge d'entrada de corrent continu de 3,3 V a 4,2 V, a més de subministrar 8 entrades/sortides digitals, 7 entrades analògiques i un port SPI (*Serial Peripheral Interface*), suficient per a recollir informació del sensor. Waspote es pot veure a la Fig.7.10.



Fig. 7.10 - Wasp mote de Libelium. Font: [www.libelium.com](http://www.libelium.com).

S'afegirà el mòdul de comunicació SigFox seleccionat, que es pot veure a la Fig.7.7. Per tant la solució de l'adquisició de dades del sensor i posterior enviament vindrà donada pel hardware Wasp mote amb el mòdul de comunicació SigFox. Les dades d'aquests dos elements poden ser consultats a l'ANNEX 8.

### **Tipus de sensor**

S'ha determinat que el paràmetre a captar serà la temperatura exclusivament, degut a que els sensors d'altres paràmetres, com la pressió, necessiten alimentació a 24 V en C.C, fet que implicaria un augment considerable del muntatge de TEGs. Per tant, el paràmetre a adquirir del sistema és la temperatura de la canonada que es pot aconseguir amb un sensor passiu, concretament amb una RTD tipus Pt100.

La sonda de temperatura Pt100 del fabricant Remberg, ofereix una adquisició de la temperatura superficial de la canonada, evitant així cap modificació mecànica del sistema, i així saber la temperatura del líquid en circulació degut a la transferència d'energia tèrmica per conducció.

La sonda Pt100 de Remberg, model Pt-S12D6-10M, treballa en un rang de temperatures de -50 °C a 250 °C, suficient pel Tub Verd. Té una longitud de cable de 10 metres, utilitzables per col·locar la sonda al punt d'adquisició de temperatura, i transmetre la variació de la resistència al mòdul convertidor, situat a la superfície per la següent emissió de la informació

mitjançant SigFox. El model de Pt100 es pot veure a la Fig.7.11, i les dades amb més detall es poden consultar a l'ANNEX 8.

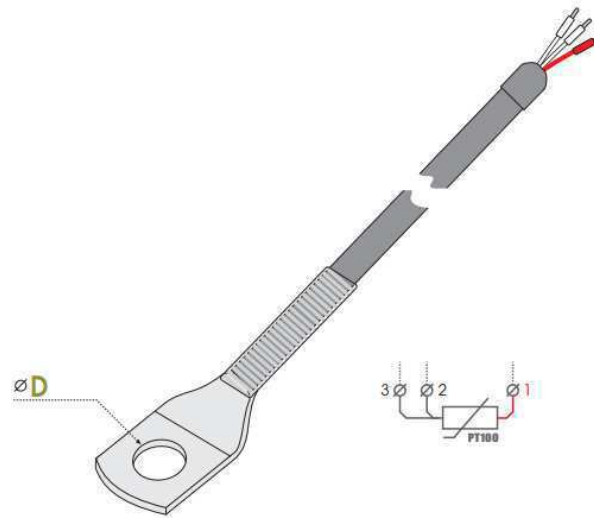


Fig. 7.11 - Sonda Pt100 de Remberg, model Pt-S12D6-10M. Font: [www.linkersystem.com](http://www.linkersystem.com).

El convertidor on es connecta la sonda Pt100 és del fabricant Linear Technology, concretament el model LTC2983. Aquest convertidor passa d'entrades analògiques, com poden ser les RTDs o termoparells, a digital, concretament a comunicació SPI. La comunicació SPI serà el mitjà per a transferir la informació de la temperatura superficial al Wispmote. El LTC2983 s'alimenta amb un rang de 2,85 V a 5,25 V, i es pot veure a la Fig.7.12, i ampliar la informació tècnica d'aquest dispositiu a l'ANNEX 8.



Fig. 7.12 - LTC2983 de Linear. Font: [experimentalavionics.com](http://experimentalavionics.com).

Per els anàlisi i les justificacions mostrades, es determina que el projecte és viable des del punt de vista tècnic.

## **7.2. Viabilitat econòmica.**

En aquest apartat, s'analitzarà la viabilitat del projecte, des del punt de vista econòmic, per garantir que la inversió realitzada serà rentable econòmicament.

Per aconseguir la justificació econòmica, es realitza l'anàlisi seguint la línia argumental que el Tub Verd té periòdicament avaries de fuga a les canonades soterrades al llarg de la ciutat de Mataró, concretament 1 avaria cada 2 anys de mitjana. Per a resoldre les avaries del sistema, el Tub Verd té un cost molt elevat comparant-lo amb el cost que tindria al haver implementat el projecte de millora del control de dades del sistema mitjançant una xarxa de sensors sense fils, ó WSN, alimentats elèctricament per els generadors termoelèctrics.

La diferència entre el cost de la solució de l'avaria sense el projecte de millora, amb el cost de la solució de l'avaria amb el projecte de millora implementat, es tracta com un benefici econòmic del Tub Verd per l'anàlisi de la rendibilitat. La argumentació es pot observa amb més detall a l'ANNEX 5.

Es considera que el Tub Verd té el límit de temps d'amortització de la inversió del projecte de millora de control del sistema en 10 anys. A la Taula 7.3. es pot observar el detall de l'anàlisi econòmic, per seguidament, calcular el VAN, la TIR i l'ICB, que demostraran la rendibilitat econòmica del projecte.

	1 ANY	2 ANY	3 ANY	4 ANY	5 ANY	6 ANY	7 ANY	8 ANY	9 ANY	10 ANY
<b>INGRESSOS</b>	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270	23.270
<b>COSTOS</b>	960	960	960	960	960	960	960	960	960	960
<b>AMORTITZACIONS</b>	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9	8.670,9
<b>BENEFICIS ABANS D'IMPOSTOS [BAI]</b>	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1	13.639,1
<b>BENEFICIS NETS [BN]</b>	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2	11593,2
<b>CASH-FLOW</b>	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1	20.264,1

Taula 7.3 - Taula de rendibilitat econòmica del projecte.

El detall de la Taula 7.3., és, a la fila d'ingressos s'ha considerat l'estalvi de cost que genera aplicar la millora que representa el projecte, repartint-lo entre 2 anys, degut a que es considera que hi haurà una avaria cada 2 anys de mitjana. Els costos indiquen la quota de connexió SigFox anual, que representa 10 €/mes per connexió genèrica, i 7 €/mes per dispositiu. Les amortitzacions representen la inversió inicial sense I.V.A., entre els anys que estan disposats a amortitzar la inversió.

Amb les dades anteriors, s'ha realitzat l'anàlisi del període de temps on la inversió del Tub Verd quedarà amortitzada. S'ha considerat un interès per als primers 5 anys d'un 2,7% i d'un 2,3% els últims 5 anys. S'ha estimat també, la taxa d'inflació dels primers 5 anys en 2,1% i en 1,6 les dels últims 5 anys.

Per calcular el VAN s'ha de tenir en compte la inversió inicial [ $C_0$ ], el *cash-flow* anual [ $C_n$ ], l'interès anual [ $i_n$ ], i taxa d'inflació [ $g_n$ ]. El càlcul del VAN, es pot veure a l'expressió (7.1).

$$VAN = -C_0 + \sum_{n=1}^N \frac{C_n}{(1+i)^n * (1+g)^n} \quad (7.1)$$

$$\begin{aligned} VAN = & -86.709 + \frac{20.264,1}{1,027 * 1,021} + \frac{20.264,1}{1,027^2 * 1,021^2} + \frac{20.264,1}{1,027^3 * 1,021^3} + \frac{20.264,1}{1,027^4 * 1,021^4} \\ & + \frac{20.264,1}{1,027^5 * 1,021^5} + \frac{20.264,1}{1,023^6 * 1,016^6} + \frac{20.264,1}{1,023^7 * 1,016^7} + \frac{20.264,1}{1,023^8 * 1,016^8} \\ & + \frac{20.264,1}{1,023^9 * 1,016^9} + \frac{20.264,1}{1,023^{10} * 1,016^{10}} \end{aligned}$$

$$\text{VAN} = -86.709 + 9.894,58 + 9.662,593 + 9.435,964 + 9.214,571 + 8.998,3 + 9.021,88 + 8.848,7 \\ + 8.678,73 + 8.511,93 + 8.348,23 = \mathbf{3.906,48 \text{ €}}$$

Es pot observar que la inversió inicial estarà completament assolida abans dels 10 anys.

L'ICB indica la relació cost-benefici, i es pot veure a l'expressió (7.2).

$$\text{ICB} = \frac{\text{VAN}}{C_0} = \frac{3.906,48}{86.709} * 100 = \mathbf{4,5\%} \quad (7.2)$$

La taxa interna de retorn ó TIR, permet saber quin és el percentatge del interès màxim que el client pot acceptar per poder assolir la inversió inicial. S'ha realitzat els càlculs amb software específic, amb un resultat de:

$$\text{TIR} = \mathbf{19\%}.$$

Amb l'anàlisi de rendibilitat econòmica, es pot determinar que el projecte serà sostenible des del punt de vista econòmic.

### **7.3. Viabilitat mediambiental.**

El projecte aprofitarà el calor residual de les canonades del Tub Verd, pel que circula aigua prèviament escalfada mitjançant la incineració de residus i el biogàs generat per la digestió anaeròbica de fangs, per a generar electricitat, i alimentar així una estructura de sensors de temperatura. Aquests sistema de sensors no consumiran l'energia de bateries, sinó de l'energia tèrmica, per tant, no només s'utilitza una metodologia d'Energy Harvesting altament sostenible, sinó que a més es redueix el residu altament contaminant, com són les bateries. S'alimentaran també els emissors SigFox amb la mateixa energia tèrmica del circuit tancat del Tub Verd, que funcionen també sense bateries. El projecte per tant, està dissenyat des de un punt de vista respectuós amb el medi ambient.



La comunicació sense cables es realitzarà per SigFox, que es basa en la comunicació mitjançant ones electromagnètiques a l'espectre de la radiofreqüència, fet que pot afectar a persones amb electrosensibilitat, o a aparells electrònics sensibles.

A la fase d'implementació, poden haver-hi riscos derivats de la possible necessitat de desviar el trànsit temporalment per obra pública. Pot existir afectació a la vida quotidiana del veïnat de Mataró. Poden també esdevenir-se riscos degut a la generació de pols per causa d'obra pública, amb el conseqüent augment de la concentració de partícules en suspensió. Es contempla que la fase d'implementació serà temporal, per aquest motiu, els efectes d'aquesta fase també ho seran.

Per una mala implementació per l'empresa que ho durà a terme, pot haver-hi rastres o conseqüències de irregularitats al sòl urbà.

La implementació del projecte generarà una lleu contaminació visual, degut a la instal·lació d'emissors i antenes SigFox al llarg del casc urbà.

A la fase d'execució, i passat el temps, poden existir avaries d'equips electrònics, els quals hauran de ser substituïts, i reciclats a la deixalleria local, per al respecte del medi ambient.

Es pot trobar un anàlisi més exhaustiu a l'informe de detall, que es pot consultar a l'ANNEX 6. Es recullen a continuació, en forma de taula, les principals accions i factors que s'hauran de prendre en consideració al projecte de detall.

### **Accions d'impacte**

A la Taula 7.4., es recullen les accions d'impacte en les diferents fases del projecte.

Accions d'impacte		Observacions
Fase de Construcció	Instal·lació del projecte	Les accions d'impacte de la fase de construcció, es consideren però no són importants. Les úniques accions que poden repercutir són les accions relacionades amb l'obra pública.
Fase d'Explotació	Pròpia utilització del projecte	En la fase d'explotació no s'observa cap impacte important que pugui afectar. És te en compte el correcte emmagatzematge de les dades. Es considera possibles residus electrònics provocats per avaries.
	Mal funcionament dels equips	
	Manteniment del sistema	

Taula 7.4 - Accions d'impacte a les fases del projecte.

### Factors ambientals d'impacte

A la Taula 7.5., es recullen els factors ambientals d'impacte en els medis analitzats.

	Factor Ambiental	Impacte sobre ...
<b>Medi Natural</b>	Atmosfera	Ones electromagnètiques.
	Sòl	No s'ha contemplat cap impacte rellevant
	Aigua	No hi ha impacte aparent
	Flora	No hi ha impacte en absolut
	Fauna	No hi ha impacte en absolut
	Medi perceptual	No hi ha impacte aparent
<b>Medi Socioeconòmic</b>	Usos del territori	No hi ha canvis significatius en els usos del territori
	Culturals	No sembla que hi hagi impactes en aquest àmbit
	Infraestructura	No sembla que hi hagi impactes en les infraestructures socials
	Humans	No s'aprecia cap impacte important sobre els humans
	Economia i població	No hi ha impacte en absolut

Taula 7.5 - Factors ambientals d'impacte.

El disseny i la futura implementació del projecte ha estat basat en les prescripcions indicades en els reglaments i normatives indicats o relacionats per aquests tipus de projectes tècnics.

- Recomanació Europea 1999/519/EC1. Relativa a l'exposició del públic en general a camps electromagnètics.
- Llei 31/1995, de 8 de Novembre, de prevenció de Riscos Laborals.
- Llei 32/2003, de 3 de Novembre. General de telecomunicacions.
- Reial Decret 1627/1997, de 24 d'Octubre. S'estableixen disposicions mínimes de seguretat i salut en les obres de construcció.
- Reial Decret 1066/2001, de 28 de Setembre. Pel que s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitàries front a emissions radioelèctriques.
- Reial Decret Legislatiu 2/2008, de 20 de Juny. Pel que s'aprova el text refós de la Llei de sòl.
- Reial decret 1580/2006, de 22 de Desembre, pel qual es regula la compatibilitat electromagnètica dels equips elèctrics i electrònics.
- Reglament electrotècnic de Baixa Tensió, aprovat pel Consell de Ministres, constituït en el Reial Decret 842/2002 del 2 d'agost de 2002 i publicat en el BOE nº.224 amb la data 18 de setembre de 2002.
- Decret 281/2003, de 4 de Novembre, de modificació del Decret 148/2001, de 29 de Maig, d'ordenació ambiental de les instal·lacions de telefonia mòbil i altres instal·lacions de radiocomunicació.
- Ordenança Municipal per la instal·lació i Funcionament d'instal·lacions de radiocomunicació.

Per els anàlisi i les justificacions mostrades, es determina que el projecte és viable des del punt de vista mediambiental.



## 8. Desenvolupament de la solució.

Per detallar la solució de la eficiència de control del Tub Verd, mitjançant les cèl·lules termoelèctriques, s'especifica el disseny proposat de la fase d'implementació.

Primerament, es mostra una proposta de distribució de punts d'adquisició de temperatura del circuit tancat del Tub Verd, tal com es pot veure a la Fig. 8.1. Amb la distribució, es pot aconseguir un millor acotament de control per trams, millorant així el control específic d'avaries.

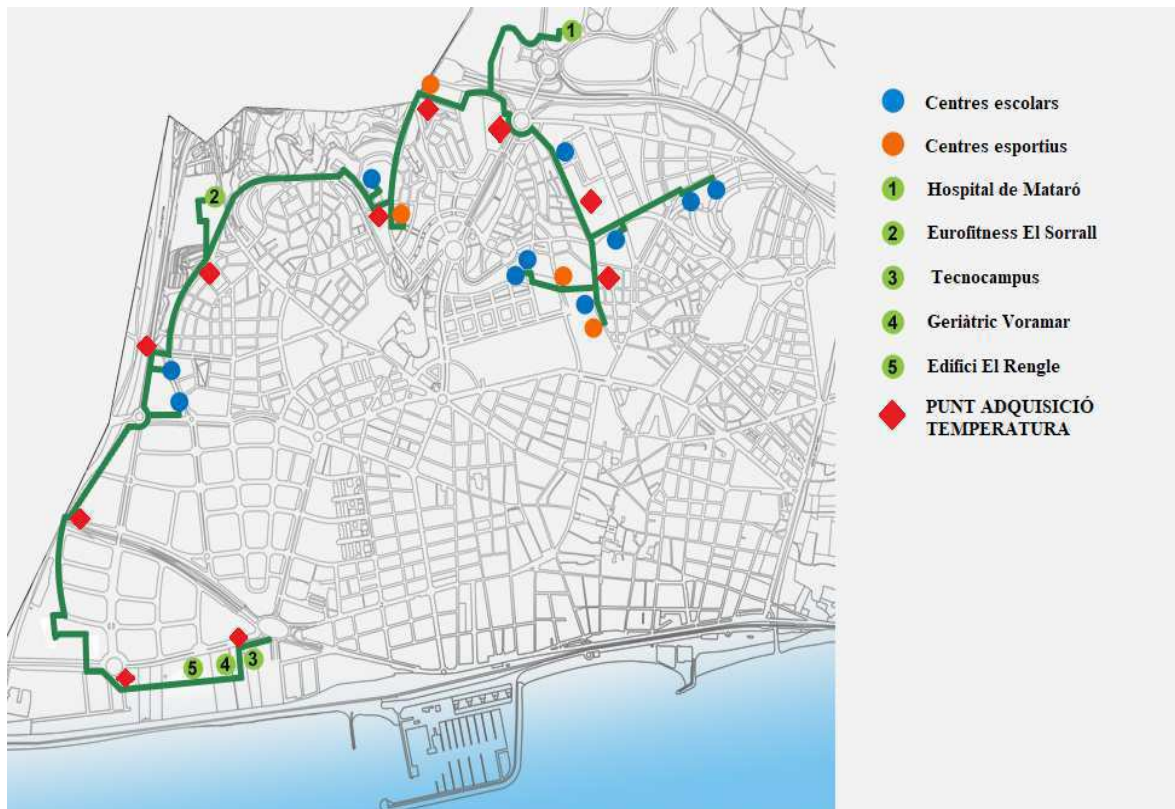


Fig. 8.1 - Proposta de distribució d'unitats d'adquisició de temperatura al llarg del Tub Verd.

Cada unitat d'adquisició de temperatura es compon de diferents fases i elements. A la Fig.8.2., es pot veure els elements que formen les unitats, a mode genèric de funcionament i a nivell de concepte.

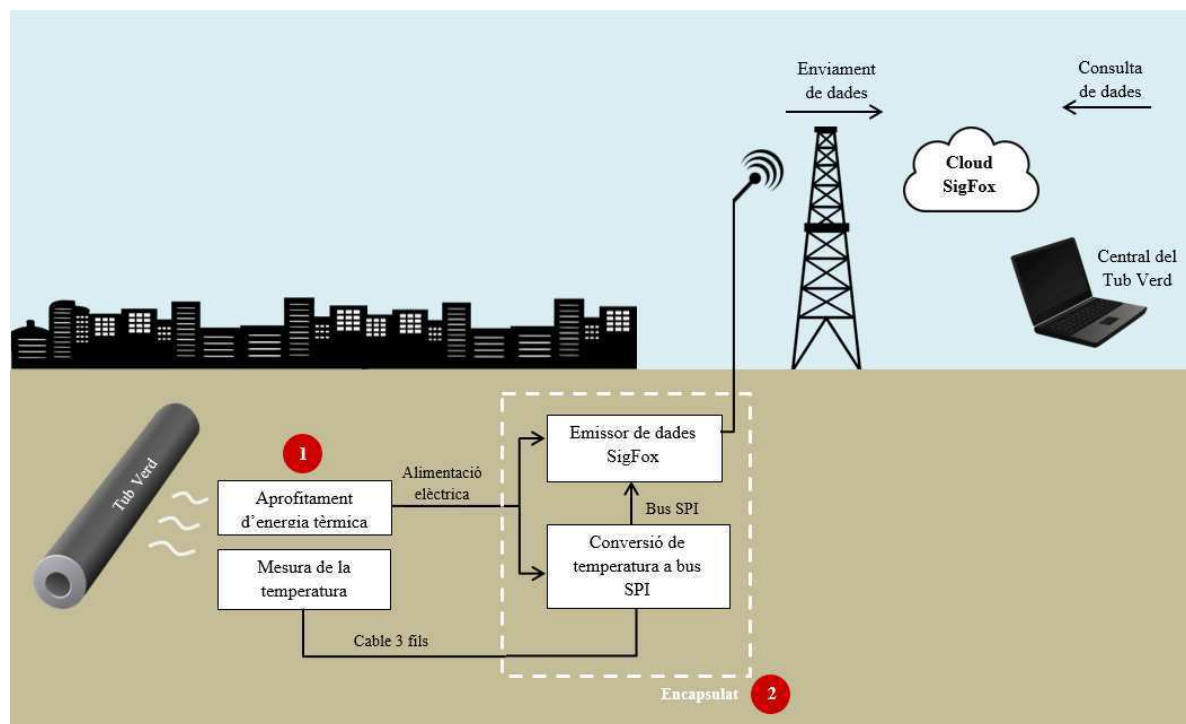


Fig. 8.2 - Solució esquemàtica general.

La referència número 1 a la Fig.8.2, descriu l'etapa d'aprofitament d'energia tèrmica per a convertir-la en energia elèctrica, que alimentarà la resta de la unitat. Aquesta transformació es realitza mitjançant les cèl·lules termoelèctriques amb el principi de Seebeck.

Les cèl·lules termoelèctriques ó TEG, subministren molt poca potència per unitat, en canvi, es realitzarà un muntatge de varis TEG, muntats en paral·lel tèrmicament i en paral·lel ó sèrie elèctricament, segons les necessitats de potència elèctrica de consum. S'utilitzaran els TEG del fabricant TEGPro, ja mencionats a l'apartat de Viabilitat tècnica de l'avantprojecte. El consum necessari i el muntatge exacte es calcularà més endavant.

A mode d'orientació, es proposa un muntatge que podria encaixar amb les canonades del Tub Verd, ja que el muntatge dels TEG haurà d'anar unit mecànicament amb contacte tèrmic, tal com es pot veure a la Fig.8.3.

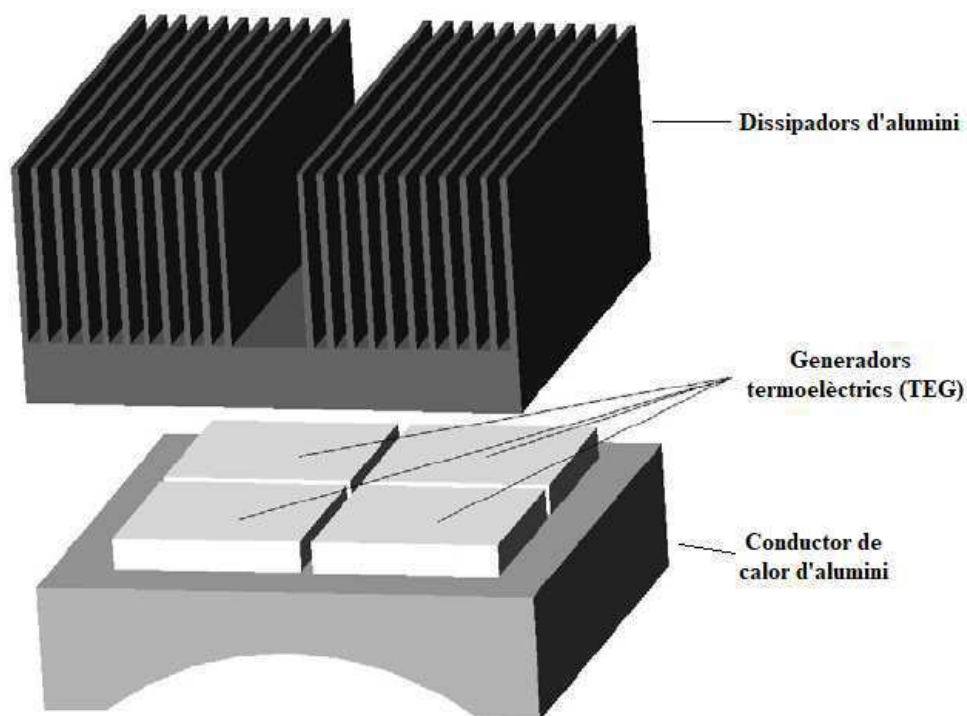


Fig. 8.3 - Muntatge de TEGs per aprofitament d'energia tèrmica de la canonada.

La referència número 2 a la Fig.8.2, descriu l'etapa d'adquisició, conversió del paràmetre físic, concretament la temperatura de les canonades del circuit tancat del Tub Verd, i posterior enviament de les dades mitjançant radiofreqüència. Es realitza l'adquisició de la temperatura superficial de la canonada, mitjançant una sonda RTD tipus Pt100. La resistència variable, que es proporcional a la temperatura, és digitalitzada pel LTC2983 i enviada a través del bus SPI cap al Wasmote. El Wasmote rep la dada i la retransmet pel mòdul específic de SigFox al Cloud, mitjançant el protocol de SigFox.

La representació més detallada de l'etapa d'adquisició, conversió i enviament es mostra a la Fig.8.4.

Una vegada les dades de la temperatura estiguin al Cloud, podran ser consultades per la central del Tub Verd, per a tenir un control de les temperatures superficials de les canonades, al llarg de tot el circuit tancat d'aigua calenta del Tub Verd.

Obtenint aquesta informació, es pot determinar si hi ha una avaria greu durant la secció de trams, a causa d'una caiguda de temperatura superficial a les canonades.

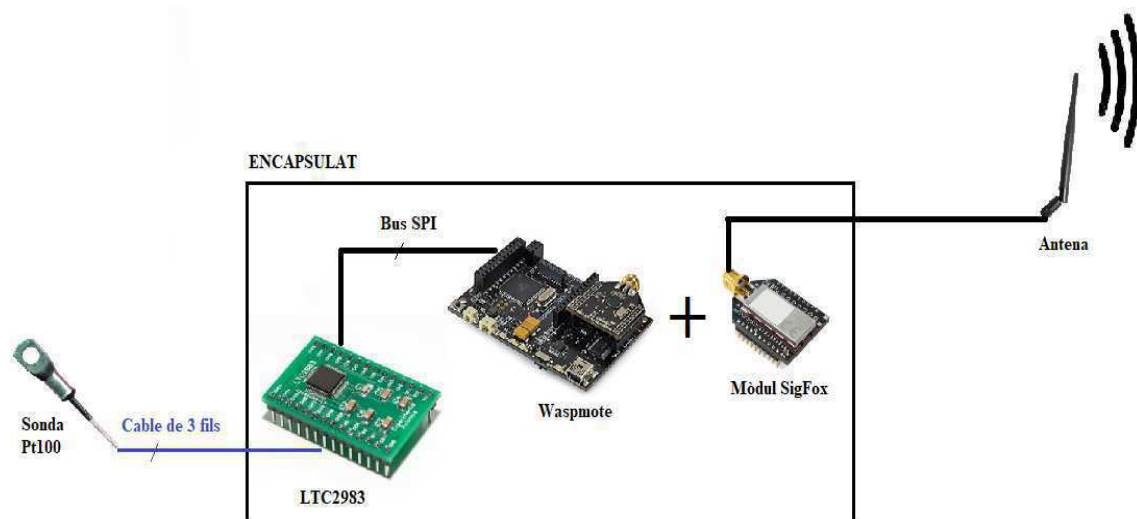


Fig. 8.4 - Etapa d'adquisició, conversió i enviament de la unitat.



## 9. Planificació del projecte.

Per tal d'assegurar una planificació fiable i un pressupost el màxim ajustat possible, s'ha realitzat dues planificacions, una per la part de disseny del projecte i l'altra per la part d'implementació. S'ofereix una programació i un cost, de tota la solució de la implementació del projecte, encara que com indica l'abast, no es realitza el seguiment d'aquesta fase.

S'ha realitzat, també, un diagrama Gantt amb el software Microsoft Project, de les dues parts mencionades del projecte. Aquests diagrames, s'han realitzat per obtenir el cost variable en hores del projecte, a més de tenir una estructura molt més visual de totes les tasques. La programació Gantt, es pot veure a la Fig.9.1. i a la Fig.9.2., respectivament.

Els recursos utilitzats pel projecte, tant en la fase de disseny com en la fase d'implementació, es descriuen seguidament. Considerant que al projecte no es detallarà el seguiment de la fase d'implementació,

Per la fase de disseny:

- Project Manager [PM].

Per la fase d'implementació:

- Project Manager de la empresa que implementa [PMI].
- Programador IT [PIT].
- Maquinista [MAQ].
- Operari 1 [O1].
- Operari 2 [O2].

S'esmenten les tasques generals del disseny del projecte. Per analitzar amb profunditat les sub-tasques i les seves assignacions i prelacions, es pot consulta l'ANNEX 7.

- 1 Identificar l'estudi.
- 2 Selecció de l'alternativa més adequada.
- 3 Anàlisi de la viabilitat.
- 4 Planificació del projecte.
- 5 Desenvolupament de la solució.
- 6 Pressupost.
- 7 Entrega de l'avantprojecte.
- 8 Introducció al projecte de detall.
- 9 Marc conceptual.
- 10 Desenvolupament de la solució.
- 11 Anàlisi i resultats.
- 12 Desviacions de la planificació.
- 13 Tancament de projecte i conclusions.

Es mencionen també, les tasques generals de la implementació del projecte. Per analitzar amb profunditat les sub-tasques i les seves assignacions i prelacions, es pot consulta l'ANNEX 7.

- 1 Compra de materials.
- 2 Muntatge.
- 3 Identificació de zones urbanes on actuar.
- 4 Obra a zona urbana.
- 5 Proves i validació.

Les conclusions temporals extretes de la programació Gantt, al projecte en fase de disseny, són que el seu inici esdevé el dia 11 de Novembre i el seu termini serà el 11 de Juny, amb

una durada total de 7 mesos. On l'avantprojecte ocuparà un total de 1 mes i 24 dies, i el projecte de detall tindrà una durada total de 4 mesos i 9 dies.

La part d'implementació tindrà una durada estimada de 3 mesos i 20 dies, segons la previsió realitzada mitjançant el MS Project, a l'any 2019.



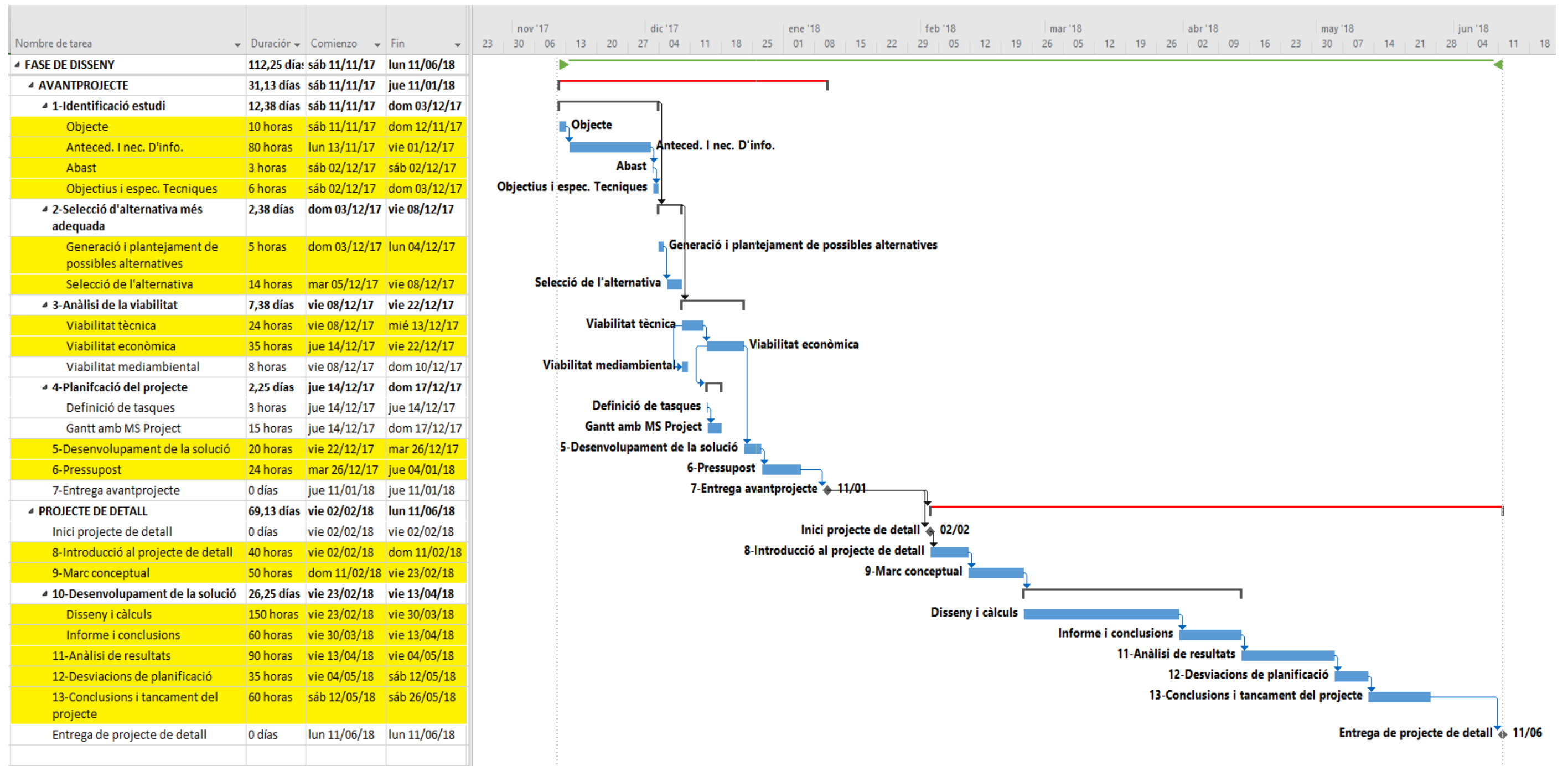


Fig. 9.1 - Gantt de la fase de disseny.



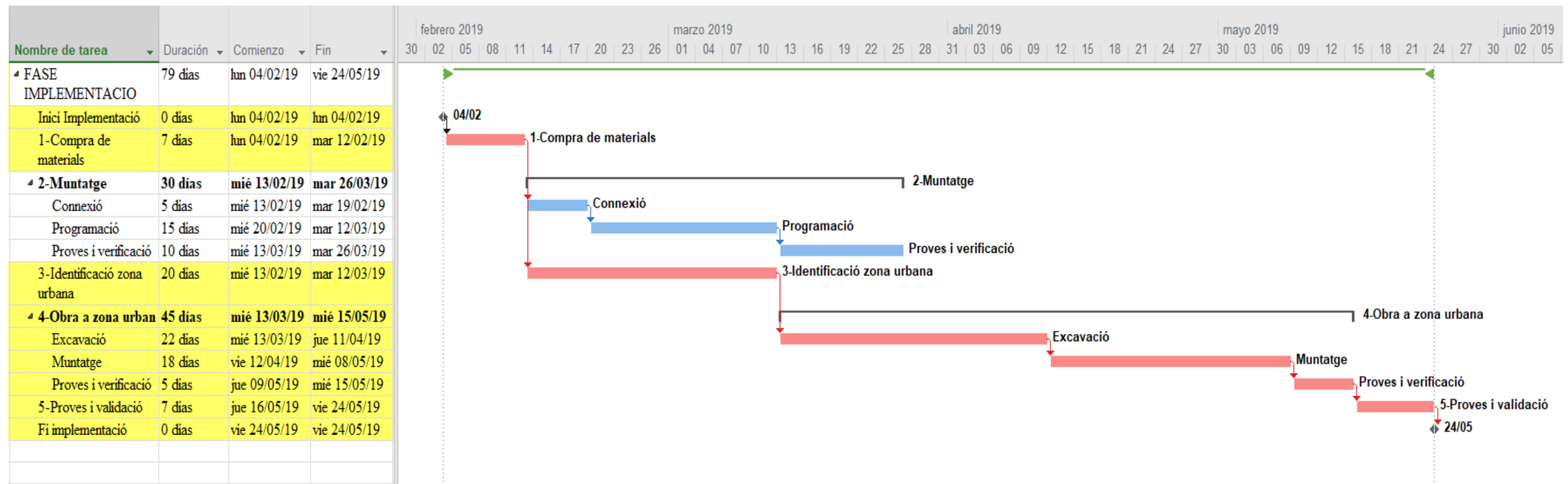


Fig. 9.2 - Gantt de la fase d'implementació.





## 10. Pressupost.

### 10.1. Amidaments.

El present capítol recull els amidaments corresponents a l'enginyeria (disseny i desenvolupament de la solució) i els materials emprats. Es poden observar a la Taula 10.1., Taula 10.2. i Taula 10.3., respectivament.

#### Capítol I: Elaboració del projecte

##### Disseny:

Nº	Nom de la tasca	Duració [h]
<b>AVANTPROJECTE</b>		<b>247</b>
1	Identificar estudi	99
2	Selecció d'alternativa més adequada	19
3	Anàlisi de la viabilitat	67
4	Planificació del projecte	18
5	Desenvolupament de la solució	20
6	Pressupost	24
7	Entrega avantprojecte	-
<b>PROJECTE DE DETALL</b>		<b>485</b>
8	Introducció al projecte de detall	40
9	Marc conceptual	50
10	Desenvolupament de la solució	210
11	Anàlisi de resultats	90
12	Desviacions de planificació	35
13	Conclusions i tancament del projecte	60
	Entrega de projecte de detall	-

Taula 10.1 - Hores dedicades al disseny del projecte.

**Implementació:**

Nº	Nom de la tasca	Duració [dies]
<b>FASE IMPLEMENTACIO</b>		<b>109</b>
1	Compra de materials	7
2	Muntatge	30
3	Identificació zona urbana	20
4	Obra a zona urbana	45
5	Proves i validació	7
	Fi implementació	-

Taula 10.2 - Hores dedicades a la implementació del projecte.

**Capítol II: Material**

Referència	Fabricant	Descripció	Quantitat	Proveïdor
TGPR-22W-7V-56S	TEGPro	Cel·lula termoelectrìca	120	Tegmart
Waspnote + SigFox	Libelium	Emissor de dades SigFox	10	Cooking Hacks
Pt-S12D6-10M	Remberg	Sonda Pt100	10	Gasteiz
LTC2983	Linear Technology	Conversor de RTD a SPI	10	Linear Tech.
Cable antena	-	Extensor cable antena	10	RS Components
Encapsulat	-	Encapsulat on col·locar la electrònica	10	
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	Cable multifilar de 4G1.5 mm2	30	Sumcab
Dissipador d'alumini	-	Dissipador d'alumini pels TEG	20	RS Components
Conductor d'alumini	-	Conductor tèrmic d'alumini per fixa a canonada	20	RS Components

Taula 10.3 - Material del projecte.

## 10.2. Quadre de preus.

### Capítol I: Elaboració del projecte

A la Taula 10.4., es poden revisar els preus per cada hora de treball dels recursos necessaris per la realització del disseny i la implementació del projecte.

Recurs	Preu h. normal [€]	Preu h. extra [€]
<b>DISSENY</b>		
Project Manager [PM]	40	60
<b>IMPLEMENTACIÓ</b>		
Project Manager empresa implementadora [PMI]	50	70
Programador IT [PIT]	35	42
Maquinista [MAQ]	22	30
Operari [OP1, OP2]	18	25

Taula 10.4 - Relació preus per hora dels recursos emprats en disseny i implementació del projecte.

### Capítol II: Material

A la Taula 10.5., es poden revisar els preus unitaris dels materials necessaris per dur a terme la implementació del projecte.

Referència	Proveïdor	Quantitat	Preu unitari [€]	Descompte
TGPR-22W-7V-56S	Tegmart	120	57,50	10%
Waspnote + SigFox	Cooking Hacks	10	228,00	5%
Pt-S12D6-10M	Gasteiz	10	32,67	20%
LTC2983	Linear Tech.	10	27,84	10%
Cable antena	RS Components	10	12,40	5%
Encapsulat		10	24,90	15%
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	30	0,89	5%
Dissipador d'alumini	RS Components	20	31,87	5%
Conductor d'alumini	RS Components	20	47,12	5%

Taula 10.5 - Preus de material necessari per la implementació del projecte.

### 10.3. Pressupost parcial.

#### Capítol I: Elaboració del projecte

##### **Disseny:**

A la taula següent, Taula 10.6., es mostren les taques realitzades per a desenvolupar el disseny del projecte, així com la quantitat d'hores necessàries i el preu associat a cada tasca.

Nº	Nom de la tasca	Duració [h]	Recurs	Preu [€]
<b>AVANTPROJECTE</b>		<b>247</b>		<b>7.400</b>
1	Identificar estudi	99	PM	3.960
2	Selecció d'alternativa més adequada	19	PM	480
3	Anàlisi de la viabilitat	67	PM	1.020
4	Planificació del projecte	18	PM	180
5	Desenvolupament de la solució	20	PM	800
6	Pressupost	24	PM	960
7	Entrega avantprojecte	-	PM	0
<b>PROJECTE DE DETALL</b>		<b>485</b>		<b>19.400</b>
8	Introducció al projecte de detall	40	PM	1.600
9	Marc conceptual	50	PM	2.000
10	Desenvolupament de la solució	210	PM	8.400
11	Anàlisi de resultats	90	PM	3.600
12	Desviacions de planificació	35	PM	1.400
13	Conclusions i tancament del projecte	60	PM	2.400
	Entrega de projecte de detall	-	PM	0
<b>COSTOS INDIRECTES</b>				<b>5.896</b>

Taula 10.6 - Pressupost parcial de la fase de disseny.

Total costos de disseny amb marge (10%) = 29.480 €.

### Implementació:

A la taula següent, Taula 10.7., es mostren les taques realitzades per a implementar el projecte, així com la quantitat d'hores i el preu associat a cada tasca.

Nº	Nom de la tasca	Duració [dies]	Recurs	Preu [€]
<b>FASE IMPLEMENTACIO</b>		<b>109</b>		<b>28.836</b>
1	Compra de materials	7	PMI	700
2	Muntatge	30	PIT	8.400
3	Identificació zona urbana	20	PMI	2.000
4	Obra a zona urbana	45	PMI+PIT+MAQ+OP1+OP2	12.976
5	Proves i validació	7	PMI+PIT	4.760
	Fi implementació	-	PMI	0
<b>COSTOS INDIRECTES</b>				<b>1.586</b>

Taula 10.7 - Pressupost parcial de la mà d'obra a la fase d'implementació.

Total costos mà d'obra amb marge (10%) = 31.720 €.

## **Capítol II: Material**

A la taula següent, Taula 10.8., es mostren els costos dels materials necessaris per a la fase d'implementació del projecte.

Referència	Proveïdor	Quantitat	Preu unitari [€]	Descompte	Preu total amb descompte [€]
TGPR-22W-7V-56S	Tegmart	120	57,50	10%	6.210,00
Waspnote + SigFox	Cooking Hacks	10	228,00	5%	2.166,00
Pt-S12D6-10M	Gasteiz	10	32,67	20%	261,36
LTC2983	Linear Tech.	10	27,84	10%	250,56
Cable antena	RS Components	10	12,40	5%	117,80
Encapsulat		10	24,90	15%	211,65
Sumsave AS-RZ1MZ1-K	Sumcab	30	0,89	5%	25,37
Dissipador d'alumini	RS Components	20	31,87	5%	605,53
Conductor d'alumini	RS Components	20	47,12	5%	895,28
<b>COSTOS INDIRECTES</b>					<b>591</b>

Taula 10.8 - Preu material per la fase d'implementació.

Total costos material = 11.818 €.

### **Capítol III: Amortitzacions**

Les amortitzacions del projecte, es poden veure a la Taula 10.9.

<b>MATERIAL</b>	<b>Preu [€]</b>	<b>Període d'amortització [projectes]</b>	<b>TOTAL [€]</b>
Ordinador	700	3	233
Mobiliari	500	3	167
Eines	200	3	67
Impressora	150	3	50
<b>TOTAL</b>			<b>517</b>

Taula 10.9 - Preu amortitzacions.

## **10.4. Pressupost global.**

El pressupost global del projecte, després dels parcials analitzats en aquest capítol, és el següent:

### **Preu del projecte de disseny amb marge i I.V.A. :**

Total capítol I = 29.480 €.

Total capítol III = 517 €.

Total amb marge i I.V.A. = 54.444 €

### **Preu del projecte d'implementació amb marge i I.V.A. :**

Total capítol I = 31.720 €.

Total capítol II = 11.818 €.

Total amb marge i I.V.A. = 55.314 €.

**PREU TOTAL PROJECTE = 109.758 €**



## 11. Referències.

- [1] [www.energia2012.es](http://www.energia2012.es), M<sup>a</sup> Cruz Acero i Jaume Esteve, *Energía ambiental (energy harvesting)*. IMB-CNM, CSIC.
- [2] Á. Fernández Ramos, *Energy Harvesting: Una técnica para generar energía*. Treball de Final de Grau, Universitat Autònoma de Madrid, Julio 2017.
- [3] [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org), Copyright © 2017 Zigbee Alliance, 2017.
- [4] [www.researchandmarkets.com/research/r3w48p/energy\\_harvesting](http://www.researchandmarkets.com/research/r3w48p/energy_harvesting), Knowledge Sourcing Intelligence, *Energy Harvesting System Market – Forecasts from 2017 to 2022*. July, 2017.
- [5] [www.mdpi.com/1424-8220/14/3/4755ag](http://www.mdpi.com/1424-8220/14/3/4755ag), R.Caliò – U.B. Rongala – D. Camboni – M. Milazzo – C. Stefanini – G. De Petris – C.M. Oddo, *Piezoelectric Energy Harvesting Solutions*. March 10th , 2014.
- [6] [www.europapress.es/castilla-lamanca/noticia-casar-guadalajara-acoge-mayor-planta-solar-fotovoltaica-provincia-dara-energia-mas-7000-hogares-20170829165037.html](http://www.europapress.es/castilla-lamanca/noticia-casar-guadalajara-acoge-mayor-planta-solar-fotovoltaica-provincia-dara-energia-mas-7000-hogares-20170829165037.html), Europapress, *El Casar acoge la mayor planta solar de Guadalajara que dará energía a más de 7.000 hogares*. 29 de Agosto, 2017.
- [7] [www.powercastco.com](http://www.powercastco.com), ©Powercast Corp.®.
- [8] [www.pavegen.com](http://www.pavegen.com), © Pavegen 2018.
- [9] [www.micropelt.com](http://www.micropelt.com), EH4 GmbH.
- [10] [www.researchgate.net/publication/274565846](http://www.researchgate.net/publication/274565846), P.E. Ruiz Ortega – M.A. Olivares Robles – L.K. Toscano Medina, *Análisis del Calor de Thomson en un Sistema Termoeléctrico Unidimensional de Dos Etapas*. Octubre, 2014.
- [11] [ethic.es/2016/07/el-trampolin-de-la-innovacion](http://ethic.es/2016/07/el-trampolin-de-la-innovacion), C. Gómez-Cotta, *El trampolín de la innovación*.

- [12] A.M. López Martínez, *Diseño de un sistema termoeléctrico aprovechando características geotérmicas*. Trabajo de Final de Grado, Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, Juny 2013.
- [13] J. Rui Camargo and M.C. Costa de Oliveira, *Principles of Direct Thermoelectric Conversion, Heat Analysis and Thermodynamic Effects*, Dr Amimul Ahsan (Ed.). ISBN: 978-953-307-585-3, 2011.
- [14] Pallás Areny, Ramón, *Sensores y acondicionadores de señal*, 2ª Edición, Marcombo, Boixareu editores 1994. ISBN: 84-267-0989-1994.
- [15] <http://iopscience.iop.org/book/978-1-6817-4641-8/chapter/bk978-1-6817-4641-8ch1>, H. Julian Goldsmid, *The Physics of Thermoelectric Energy Conversion*. April, 2017.
- [16] Dpto. De Electrónica, Automática e Informàtica Industrial, "Modelado de una célula Peltier".
- [17] [www.marlow.com/resources/faqs](http://www.marlow.com/resources/faqs), © 2017 II-VI Marlow, Inc. All Rights Reserved.
- [18] Francisco Javier Villasevil Marco, Tesis doctoral: *Desarrollo y caracterización de estructuras termoeléctricas con pellets constituidos por nuevos materiales y geometrías no estandar*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- [19] A.M. López Martínez i F.X. Villasevil Marco, *La termoelectricitat, una tecnologia sostenible i respectuosa amb el medi*. Presentació de diapositives.
- [20] M. Ortiz Aguilar, *Sistema electrònic para el aprovechamiento de la energía del cuerpo humano*. Trabajo de Final de Grado, Escola Universitària Politècnica de Mataró, Primavera 2012.
- [21] A. Martín Domingo, *Apuntes de Transmisión del calor*. Departamento de Física e Instalaciones, Universidad Politécnica de Madrid, Mayo 2011.
- [22] [www.unet.edu.ve/~fenomeno/F\\_DE\\_T-165.htm](http://www.unet.edu.ve/~fenomeno/F_DE_T-165.htm), UNET, Transferencia de Calor.

- [23] A. Risseh – H. Nee – O. Erlandsson – K. Brinkfeldt, et al., *Design of Thermoelectric Generator for Waste Heat Recovery Application on a Drivable Heavy Duty Vehicle*. SAE Int. J. Commer. Veh. 10(1): 26-44, 2017.
- [24] J.E. Rodríguez, *La recuperación termoeléctrica del calor residual, una Fuente de energía ambientalmente amigable*. Grupo de Materiales Termoeléctricos, Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, MOMENTO, Diciembre 2010.
- [25] [www.powerwatch.com](http://www.powerwatch.com), © 2018 Matrix Industries.
- [26] [scatec.no](http://scatec.no), Scatec company.
- [27] [tegma.no](http://tegma.no), Scatec's company.
- [28] TEGma, *Waste heat to green power*. Presentation, May 24th 2017.
- [29] Travis T. Wallace, 2011 DOE Thermoelectrics Applications Workshop, *Development of Marine Thermoelectric Heat Recovery Systems*. January 5th 2011.
- [30] H. Fagehi, *Optimal Design of Automotive Exhaust Thermoelectric Generator (AETEG)*. Master's Theses. Western Michigan university, December 2016.
- [31] [www.rgsdevelopment.nl/solutions/thermagy](http://www.rgsdevelopment.nl/solutions/thermagy), © RGS DEVELOPMENT BV.
- [32] [www.greenteg.com/U-Value](http://www.greenteg.com/U-Value), greenTEG AG.
- [33] [www.tubverd.cat](http://www.tubverd.cat), © Mataró Energia Sostenible.
- [34] [en.wikipedia.org/wiki/District\\_heating](http://en.wikipedia.org/wiki/District_heating), District Heating, Wikipedia.
- [35] [www.aiguesmataro.com/ca/el-tub-verd](http://www.aiguesmataro.com/ca/el-tub-verd), © Aigües de Mataró, Ajuntament de Mataró.
- [36] A. Bonmatí, *Evaluación y prevención de riesgos Ambientales en Centroamérica*. Documentación Universitaria, Girona 2008. ISBN: 978-84-96742-37-6.
- [37] [tecnologicobj12.blogspot.com.es/2011/09/que-es-xbee.html](http://tecnologicobj12.blogspot.com.es/2011/09/que-es-xbee.html), Blog tecnològic de definició de tecnologia Xbee, 26 Setembre 2011.

- [38] [xbee.cl/que-es-xbee](http://xbee.cl/que-es-xbee), web explicativa de tecnologia Xbee, MCI electronics.
- [39] [www.digi.com/pdf/chart\\_xbee\\_rf\\_features.pdf](http://www.digi.com/pdf/chart_xbee_rf_features.pdf), web comparativa de tecnologies Xbee, DIGI International INC.
- [40] [www.sigfox.com/en](http://www.sigfox.com/en), web principal de la tecnologia SigFox, SigFox, Made by EMAKINA.
- [41] [www.nobbot.com/redes/sigfox-la-red-para-el-internet-de-las-cosas](http://www.nobbot.com/redes/sigfox-la-red-para-el-internet-de-las-cosas), web d'explicació de la tecnologia SigFox..
- [42] [www.lora-alliance.org/](http://www.lora-alliance.org/), LoRa Alliance, © 2017 LoRa Alliance.





# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**Annexos Avantprojecte**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**





## **Índex.**

Índex de taules.....	III
1. Annex 1: Característiques i interpretació del TEC. ....	1
2. Annex 2: Característiques i interpretació del TEG. ....	13
3. Annex 3: Anàlisi QFD. ....	17
4. Annex 4: Anàlisi per la selecció de l'alternativa més adequada.....	19
5. Annex 5: Anàlisi viabilitat econòmica.....	25
6. Annex 6: Llistes de control de la viabilitat mediambiental. ....	27
7. Annex 7: Informació de tasques del projecte.....	53
8. Annex 8: Datasheets.....	55



## **Índex de taules.**

Taula 3.1 - Anàlisi QFD.....	18
Taula 4.1 - Rúbrica estàndard utilitzada a les valoracions.....	19
Taula 4.2 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors no cablejats amb bateries.....	21
Taula 4.3 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors no cablejats sense bateries.....	22
Taula 4.4 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors cablejats.....	22
Taula 4.5 - Rúbrica de valoració de solució de xarxa wireless.....	23
Taula 4.6 - Rúbrica de valoració de solució de xarxa semi-cablejada.....	23
Taula 5.1 - Anàlisi de costos d'avaría amb implementació i sense implementació. ....	26
Taula 7.1 - Tasques del projecte, fase de disseny. ....	53
Taula 7.2 - Tasques del projecte, fase d'implementació.....	54



## 1. Annex 1: Característiques i interpretació del TEC.

Seguidament, es mostra els fulls de característiques tècniques del fabricant del TEC mostrat com a exemple.

HP-127-1.4-1.5-74 Thermoelectric Module (Peltier Module) Specifications		Material Specifications (27 °C hot side temperature)	Material Specifications (50 °C hot side temperature)	Module material specifications are nominal values based on the hot-side temperature indicated. Thermoelectric material parameter tolerance is +/-10%.  In no case should the module temperature be allowed to exceed its maximum operation/storage temperature.  Please review all product and technical information, <i>Thermoelectric Module Mounting Procedure</i> , parameter definitions, FAQ's, and ordering information posted on our website before purchasing or using this product.
	Vmax (V)	16.7	18.5	
I <sub>max</sub> (A)	6.3	6.3		
Q <sub>max</sub> (W)	65.0	71.3		
DT <sub>max</sub> (°C)	74	84		
Operation/storage temperature	-40 °C to +80 °C			

Width, A (mm) 40 +0.5/-0.2  
 Width, B (mm) 40 +0.5/-0.2  
 Height, H (mm) 3.9 ±0.05  
 Flatness, F (mm) 0.02  
 Parallelism, P (mm) 0.03  
 Wire Size, WS (mm<sup>2</sup>) 0.34  
 Wire Length, WL (mm) 120

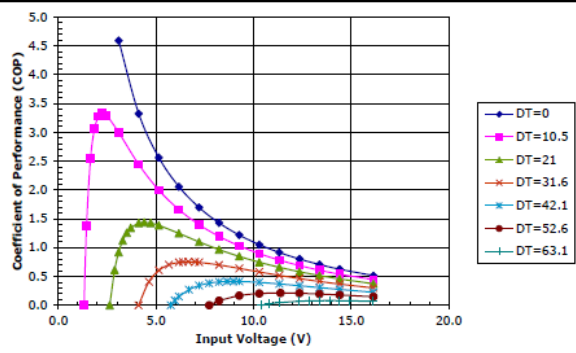
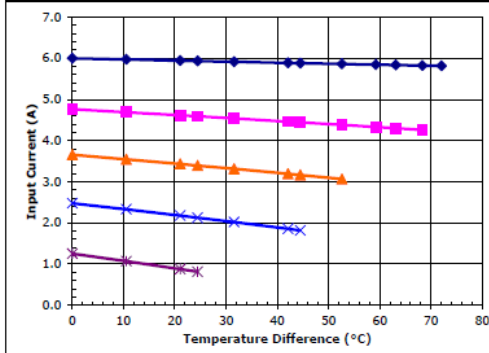
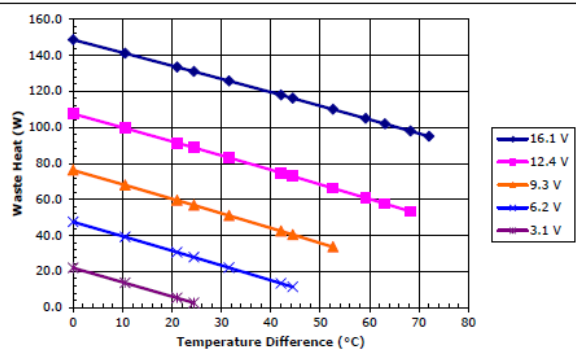
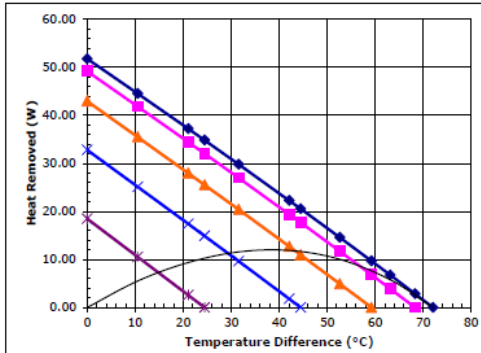
Optional Features and Notes:  
 Add "P" to part number for sealing module with epoxy potting.

Performance graphs include thermal resistance of substrates.

RoHS Compliant



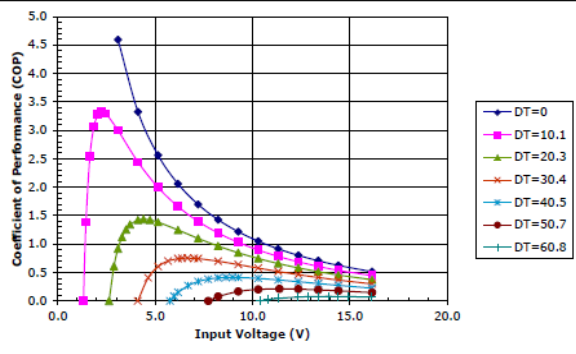
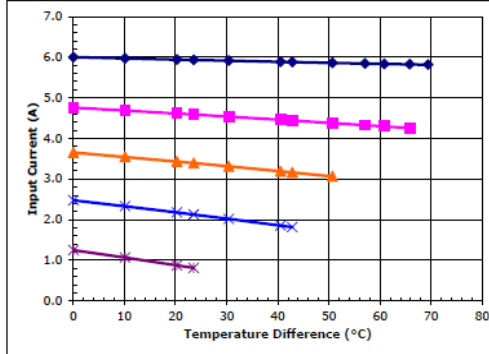
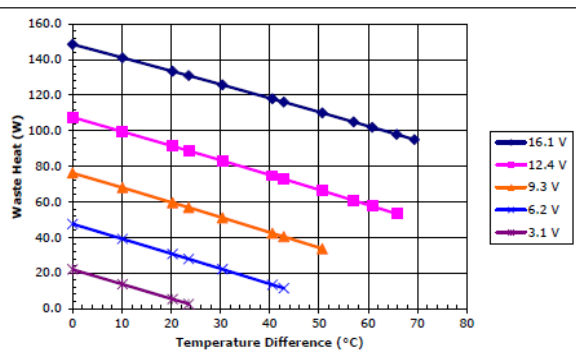
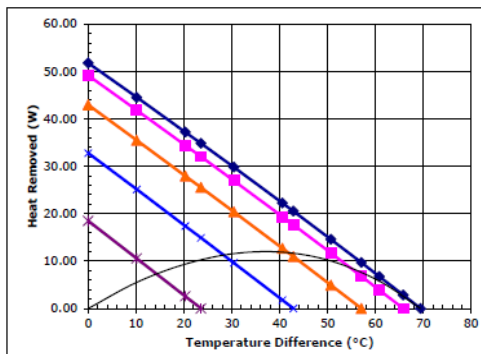
1590 Keane Drive, Traverse City, MI, 49696-8257 USA  
 PH: 231-929-3966 FAX: 231-929-4163 email: cool@totech.com



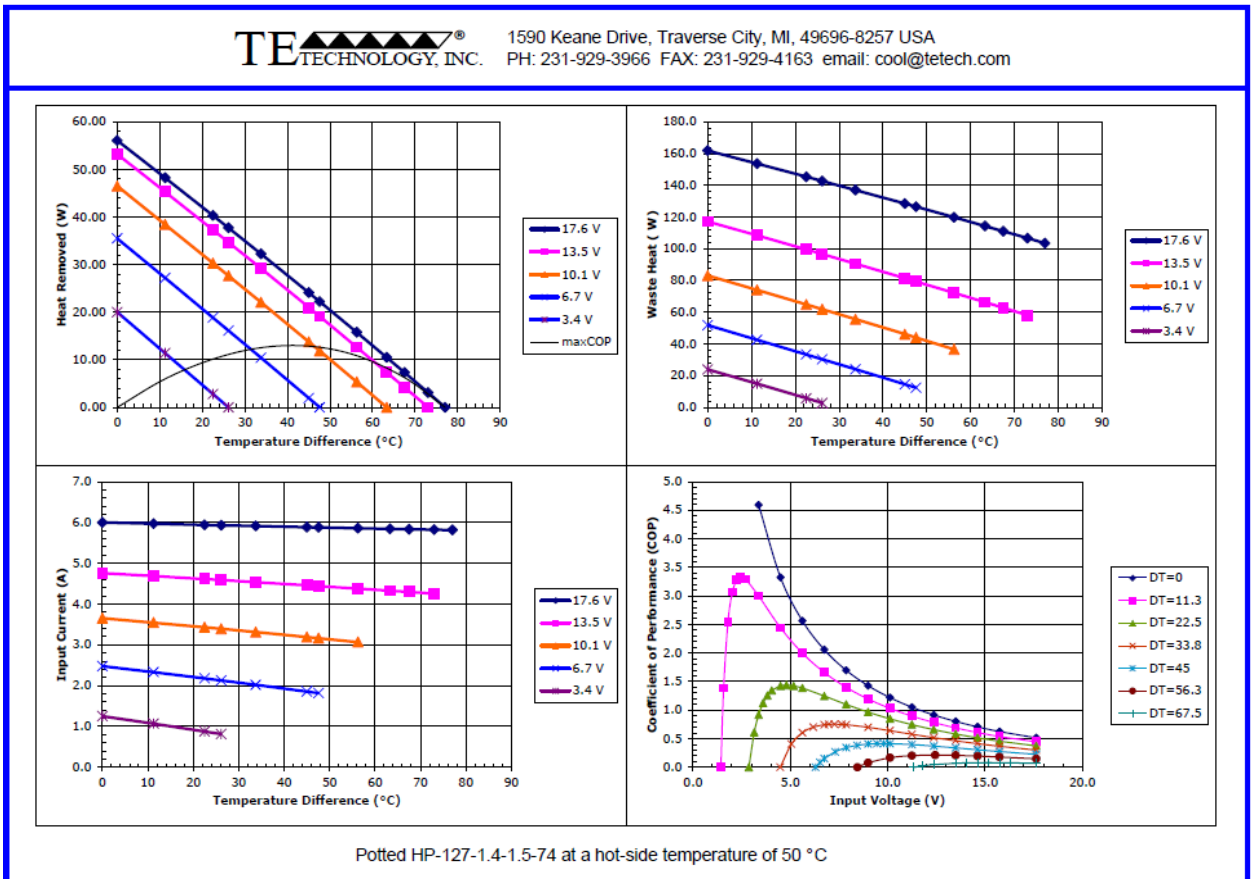
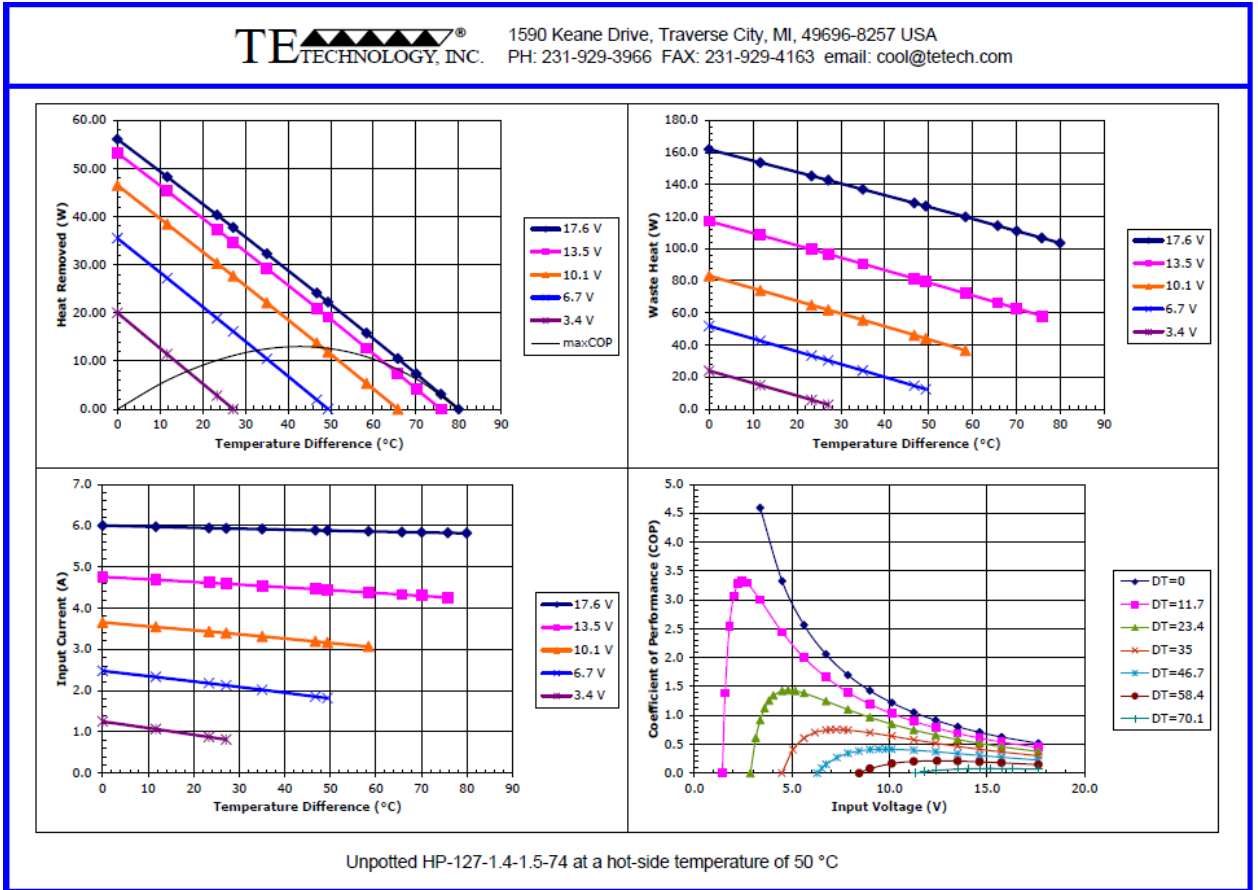
Unpotted HP-127-1.4-1.5-74 at a hot-side temperature of 30 °C



1590 Keane Drive, Traverse City, MI, 49696-8257 USA  
 PH: 231-929-3966 FAX: 231-929-4163 email: cool@totech.com

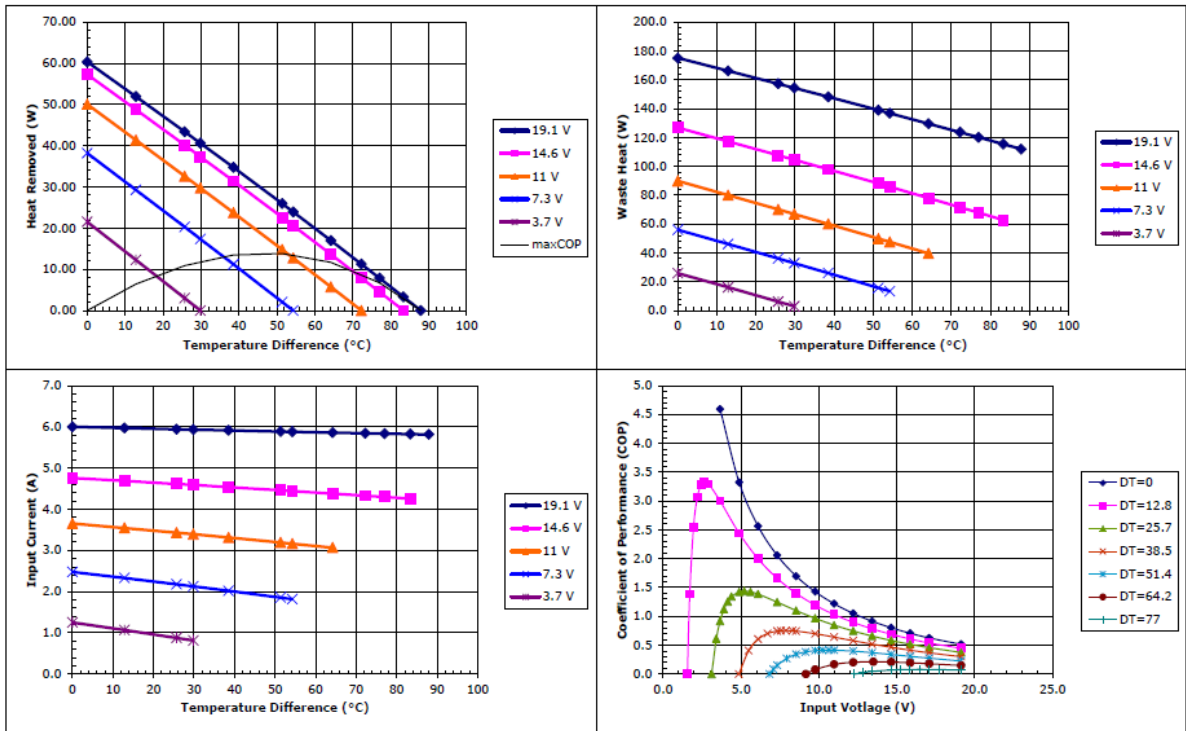


Potted HP-127-1.4-1.5-74 at a hot-side temperature of 30 °C





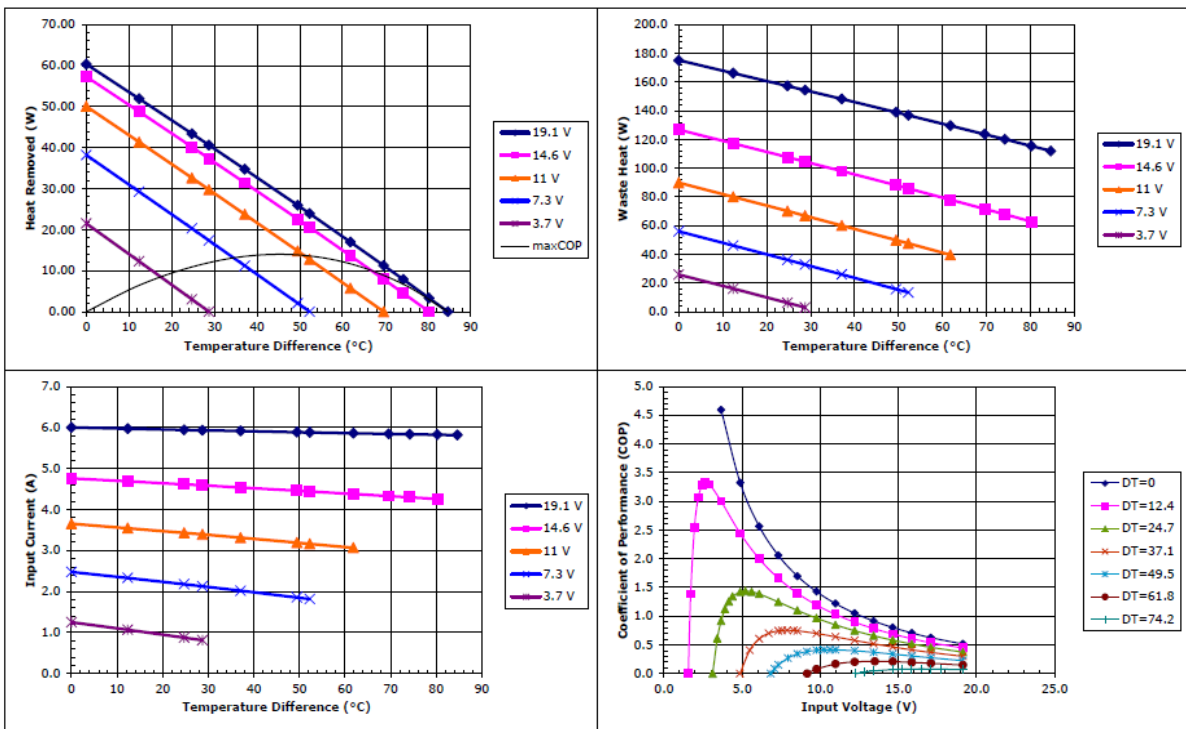
1590 Keane Drive, Traverse City, MI, 49696-8257 USA  
 PH: 231-929-3966 FAX: 231-929-4163 email: cool@totech.com



Unpotted HP-127-1.4-1.5-74 at a hot-side temperature of 70 °C



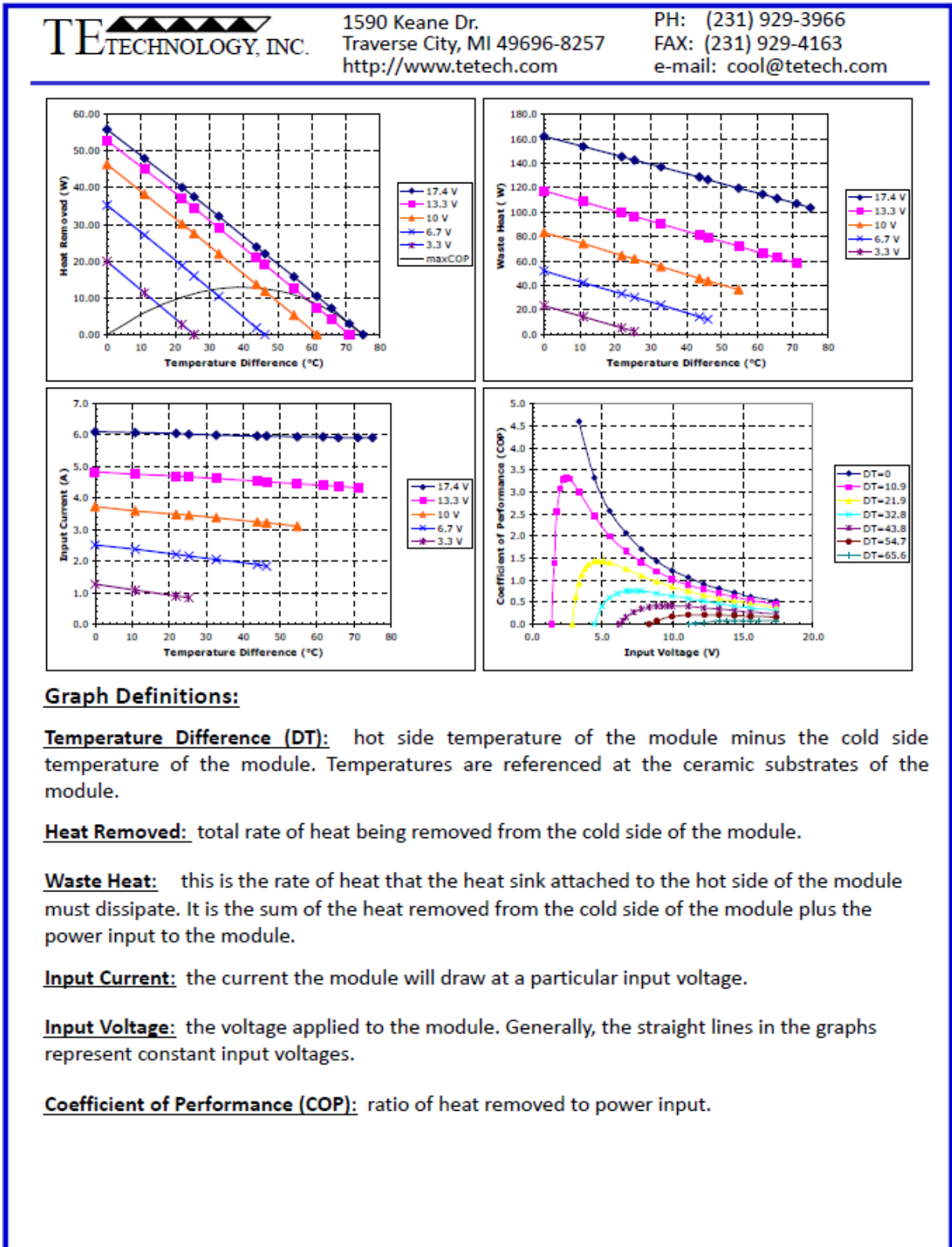
1590 Keane Drive, Traverse City, MI, 49696-8257 USA  
 PH: 231-929-3966 FAX: 231-929-4163 email: cool@totech.com



Potted HP-127-1.4-1.5-74 at a hot-side temperature of 70 °C



Es mostra la interpretació segons fabricant:



**TE** TECHNOLOGY, INC.

1590 Keane Dr.  
Traverse City, MI 49696-8257  
<http://www.tetech.com>

PH: (231) 929-3966  
FAX: (231) 929-4163  
e-mail: [cool@tetech.com](mailto:cool@tetech.com)

### **Thermoelectric (Peltier) Module / Material Definitions:**

**Q<sub>max</sub>:** The amount of heat that a TE cooler can remove at a zero degree temperature difference when the hot-side of the elements within the thermoelectric module are at 300 K.

**I<sub>max</sub>:** The current that produces DT<sub>max</sub> when the hot-side of the elements within the thermoelectric module are held at 300 K.

**V<sub>max</sub>:** The voltage that is produced at DT<sub>max</sub> when I<sub>max</sub> is applied and the hot-side temperature of the elements within the thermoelectric module are at 300 K.

**DT<sub>max</sub>:** The maximum obtainable temperature difference between the cold and hot side of the thermoelectric elements within the module when I<sub>max</sub> is applied and there is no heat load applied to the module. This parameter is based on the hot side of the elements within the thermoelectric module being at 300 K. In reality, it is virtually impossible to remove all sources of heat in order to achieve the true DT<sub>max</sub>. Therefore, the number only serves as a standardized indicator of the cooling capability of a thermoelectric module.

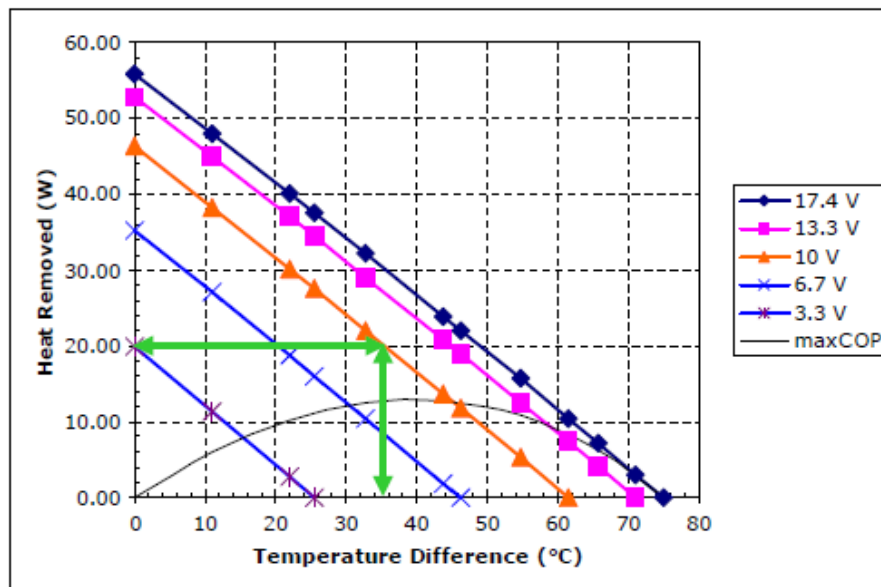


Please note that a thermoelectric (Peltier) module does not by itself pump heat. It must be used with a heat sink with a sufficiently low thermal resistance in order for the module to be able to effectively remove heat. Usually, the heat sink will require moving fluid, either air provided by a fan or by moving water, for example. If a proper heat sink is not used, the module can over-heat and catastrophically fail.

Each set of graphs is based on one particular hot-side temperature. You will need to verify that the hot-side temperature calculated from the amount of heat the heat sink must dissipate in conjunction with the thermal resistance of the heat sink and the local ambient temperature corresponds with (or is at least less than) the temperature that the graphs are based on.

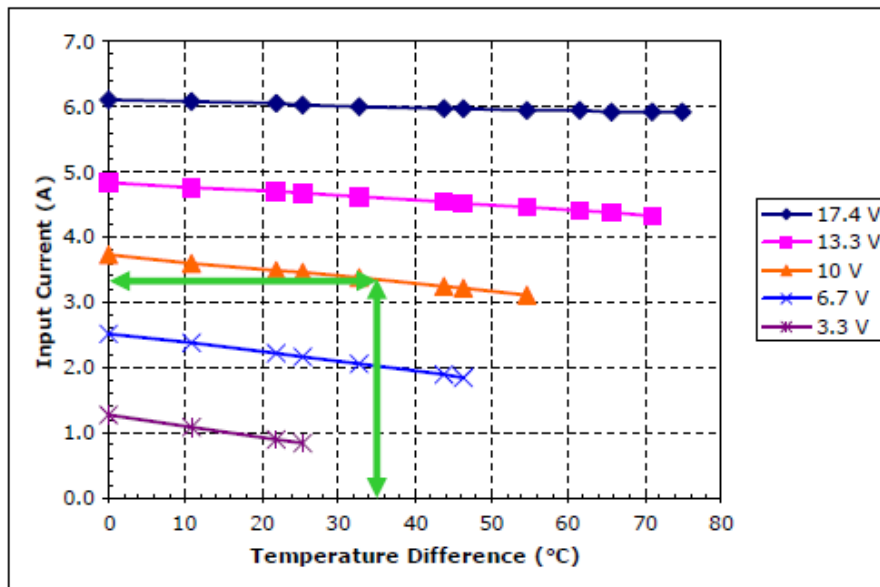
### Method/General Principles

There are several sets of graphs provided in the specification corresponding to the hot-side temperature of the module and whether or not the module is potted. Be sure that you are using the correct set of graphs for your application. Initially, you might have to estimate the hot-side temperature of the module. If this is the case, and the ambient temperature is approximately 25 °C, then using the 50 °C hot-side graphs is a good starting place.



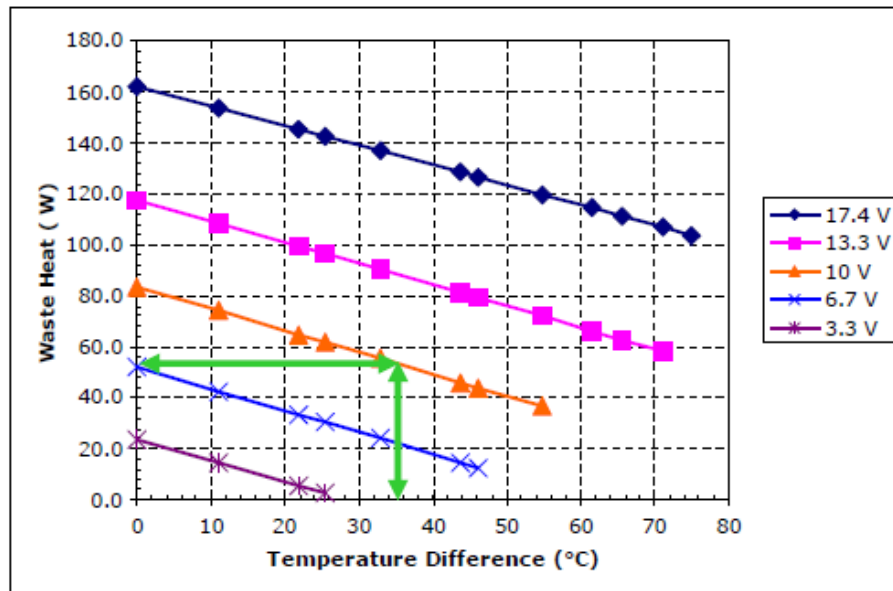
If you know the amount of heat load you need to remove and the desired cold-side temperature, you can determine what input voltage is required. Suppose you need to remove 20 W of heat at 15 °C and assume for now that the hot side of the module is at 50 °C. The temperature difference is then  $50 - 15 = 35$  °C. Therefore, the module would need a 10 V input.

The “maxCOP” line represents heat removal points at which the module is operating at the maximum coefficient of performance for a given temperature difference. If the operating point is on this line then the module will provide the desired amount of heat pumping for the least power input. If the operating point is above the line, then the module will tend to require more power input but its size may be smaller and/or it will tend to be less expensive than a module selected for maximum COP. If your operating point is below this line, then you may be able to select a module with a lower  $Q_{max}$  that yields better performance.



Once you know the input voltage, you can then determine what the steady-state current draw the module will have. In the example, a vertical line is drawn from the "Temperature Difference" axis until it intersects the graphed line representing the input voltage. Then draw a horizontal line from the intersection to "Input Current" axis to determine the current draw.

For our example, the module would be drawing approximately 3.3 A. Please note that this is an operating current at steady state. The start-up current would generally be approximately 20% greater. The start-up current can be determined by looking up the input current (corresponding to the operating voltage) at a zero-degree temperature difference using the Input Current vs. Temperature Difference graph for the hot-side temperature corresponding to the ambient temperature.

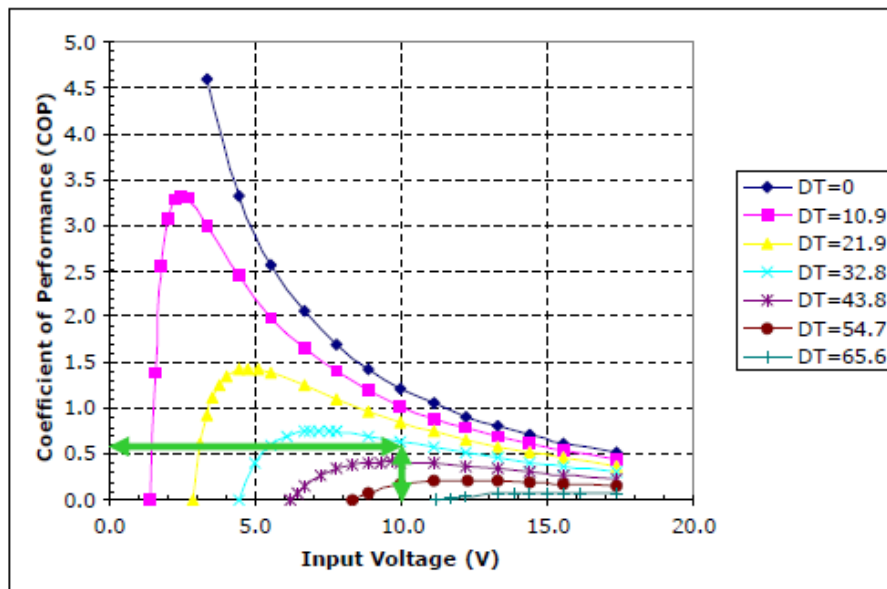


With our current example, we have actually already determined that the waste heat is 53 W (20 W of cooling plus 10 V x 3.3 A power input = 53 W). However, if you already knew the thermal resistance of your heat sink but did not know how much heat you could remove from the cold side, you could use this graph as your starting point.

In any case, this graph can be used to determine whether the thermal resistance of the heat sink you already have selected is sufficiently low enough to provide the performance you need, or it can tell you what the maximum thermal resistance can be.

Suppose the inlet fluid (air, water, etc.) to the heat sink is 20 °C. With our assumed hot-side temperature of 50 °C, the maximum allowable thermal resistance of the heat sink is then  $(50\text{ °C} - 20\text{ °C})/53\text{ W} = 0.57\text{ °C/W}$ . This is the total allowable thermal resistance which includes the basic thermal resistance of the heat sink, spreading resistance, and interface resistance.

If the total actual thermal resistance is equal to the maximum allowable thermal resistance, then the module can provide the necessary amount of cooling at the desired cold-side temperature, but there would be no safety factor. If the total actual thermal resistance is less than the maximum allowable thermal resistance, then the module would be able to pump more heat than actually required.



As with the heat removed in our current example, we have also already determined that the coefficient of performance (COP) is 0.6 [20 W of cooling divided by (10 V x 3.3 A) power input, 20/33 = 0.6]. However, this graph provides a visual indication of how far off of the maximum COP that the operating point is.

The graph can also be used as a starting point if you know how much heat you need to remove but you only have a limited amount of power available. You could then calculate your required COP and determine from the graph what input voltage would be required to obtain the desired temperature difference.









## 2. Annex 2: Característiques i interpretació del TEG.

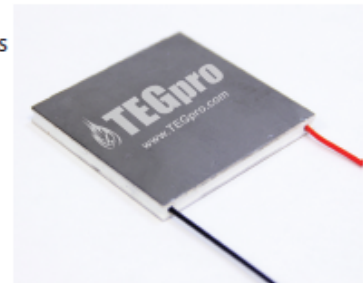
Seguidament, es mostra els fulls de característiques tècniques del fabricant del TEG mostrat com a exemple.



TE-MOD-22W7V-56  
22 Watt Thermoelectric Module

### Product Overview

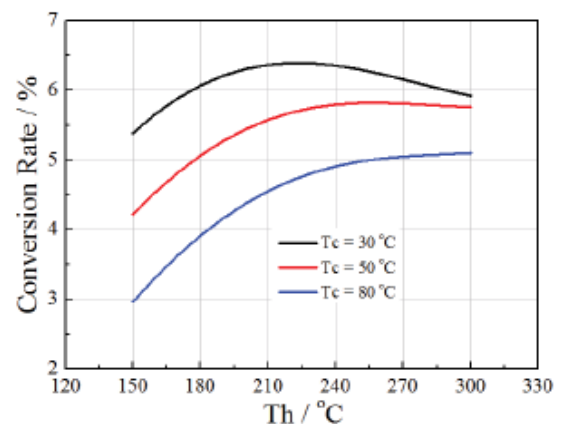
Our TEG power module is specifically designed and manufactured to convert high temperature heat sources directly into electricity. The Bi-Te based thermoelectric modules can operate at temperatures as high as 330 °C (626 K) continuously and up to 400 °C (752 K) intermittently. The module will generate DC voltage if there is a temperature difference across the module. Power is generated as the temperature difference across the module increases. The efficiency of the module will also increase as well. Thermally conductivity graphite sheets have been applied to both sides of the ceramic plates to provide low contact thermal resistance. Therefore you do not need to apply thermal grease or other heat transfer compound when you install the module. The graphite sheet works very well in high temperatures.



### Specifications

Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	14.4
Matched Load Resistance (ohms)	2.4
Matched load output voltage (V)	7.2
Matched load output current (A)	3.0
Matched load output power (W)	21.6
Heat flow across the module(W)	≈ 415
Heat flow density(W cm-2)	≈ 13.2
AC Resistance (ohms) Measured under 27 °C at 1000 Hz	1.1 ~ 1.35

### Specification of the Module

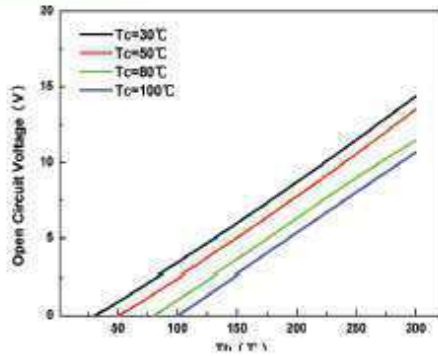


Note: Conversion rate = Matched load output power/Heat flow through the module

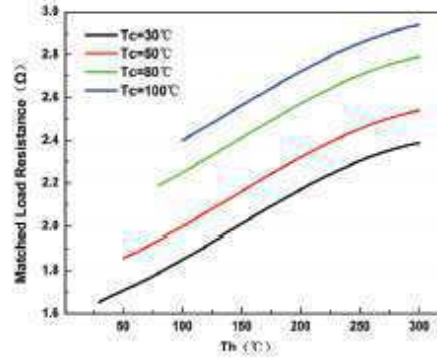


TE-MOD-22W7V-56  
22 Watt Thermoelectric Module

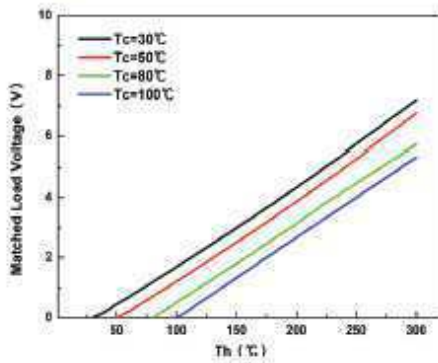
Performance



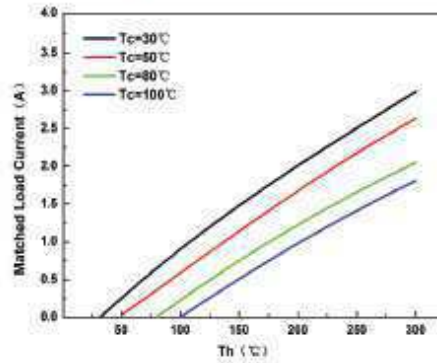
The chart for open circuit voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



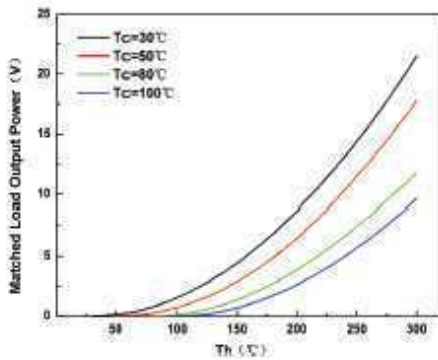
The chart for matched load resistance Vs  $T_h$  under various  $T_c$



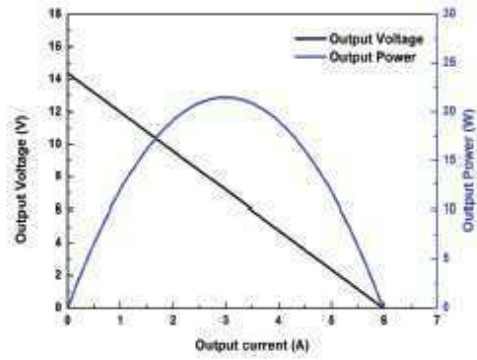
The chart for matched load voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load current Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load output power Vs  $T_h$  under various  $T_c$

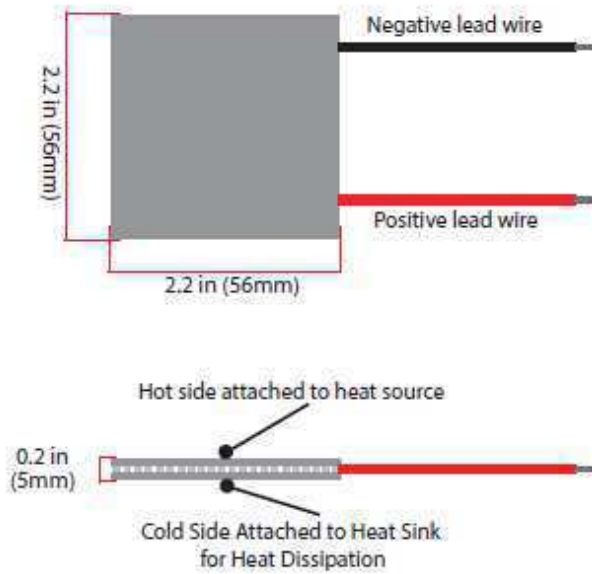
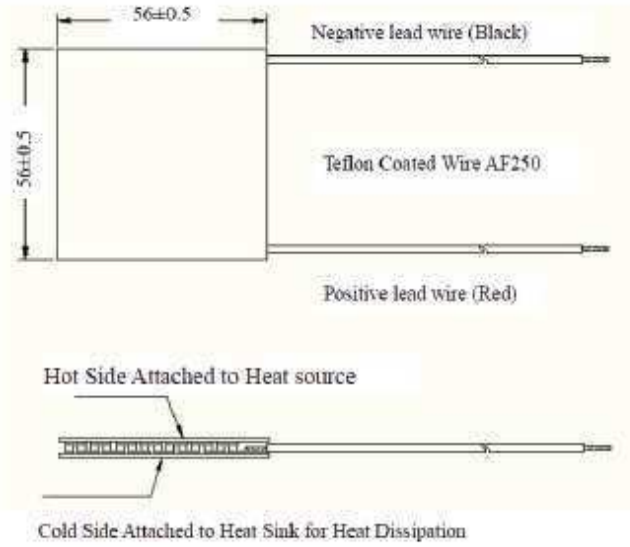


The chart for output voltage and output power Vs output current under  $T_c=300\text{ }^\circ\text{C}$  and  $T_c=30\text{ }^\circ\text{C}$



TE-MOD-22W7V-56  
22 Watt Thermoelectric Module

### Dimensions





### **3. Annex 3: Anàlisi QFD.**

S'ha realitzat un anàlisi QFD per tal d'establir la jerarquia d'importància dels objectius i les especificacions tècniques. L'anàlisi QFD es pot veure a la Taula 3.1.

El criteri de valoració quantitatiu per l'anàlisi QFD, és una valoració del 1 al 10, sent un 1 molt poc important i un 10 molt important. També s'ha calculat la ponderació relativa i absoluta de cada objectiu i especificació tècnica, obtenint una conclusió ràpida, a simple vista.

LA CASA DE LA QUALITAT													
OBJECTIUS	ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES									PONDERRACIÓ DE L'OBJECTIU	PONDERRACIÓ ABSOLUTA	PONDERRACIÓ RELATIVA	
	Generadors termoelèctrics amb bona eficiència	Topologia de muntatge dels TEG per maximitzar la conversió energètica	Sensors de baix consum elèctric	Minimitzar la varietat de sensors, maximitzant la informació	Protocol de comunicació wireless	Distribució de sensors i elements de xarxa òptims.	Sensors amb capacitat de comunicació sense cables, o sistema amb aquesta capacitat i compatibilitat amb el sistema	Augment d' informació del sistema	Sensors autònoms i sense bateries				
Disseny EH mitjançant TEG per aprofitament del calor de rebuig del Tub Verd	8	8	3	2	2	3	2	4	2	9	2,5	22,5	26%
Alimentació elèctrica de sensors mitjançant els TEG	8	7	9	3	2	1	4	3	7	9	2,5	22,5	26%
Paràmetres físics necessaris per un control òptim del Tub Verd	2	4	8	9	2	7	4	8	6	6	1	6	7%
Disseny d'una WSN viable per al Tub Verd	6	6	7	2	9	8	9	8	8	9	2	18	21%
Solució eficient i sostenible	7	8	8	7	5	6	6	8	9	8	2	16	19%
<b>PONDERRACIÓ ABSOLUTA</b>	<b>6,96</b>	<b>7,03</b>	<b>6,73</b>	<b>3,70</b>	<b>4,05</b>	<b>4,38</b>	<b>4,91</b>	<b>5,62</b>	<b>6,19</b>			<b>85</b>	<b>100%</b>
<b>PONDERRACIÓ RELATIVA</b>	<b>14,05%</b>	<b>14,18%</b>	<b>13,58%</b>	<b>7,46%</b>	<b>8,17%</b>	<b>8,83%</b>	<b>9,90%</b>	<b>11,33%</b>	<b>12,50%</b>				

Taula 3.1 - Anàlisi QFD

## 4. Annex 4: Anàlisi per la selecció de l'alternativa més adequada.

Per la justificar la selecció de l'alternativa més adequada, s'ha realitzat un anàlisi basat en rúbriques de valoració, per avaluar quines alternatives resulten més òptimes davant dels objectius i les especificacions tècniques definides.

Les rúbriques de valoració mostren uns criteris definits per classificar totes les alternatives de solució. La rúbrica estàndard utilitzada, és la que es pot veure a la Taula 4.1.

<b>ALTERNATIVA DE SOLUCIÓ</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3		
Innovació	2,5		
Sostenible	3		
Relació qualitat/cost	1,5		
<b>TOTAL</b>			

Taula 4.1 - Rúbrica estàndard utilitzada a les valoracions.

La ponderació de totes les valoracions suma 10 punts. A la columna de parcial es mostra el resultat del producte de la ponderació i la valoració de cada criteri. La suma de la columna de parcial, mostra el resultat de la valoració de l'alternativa, i s'utilitzarà per la selecció de l'alternativa més adequat, essent la de puntuació més alta.

Seguidament, s'indica la llegenda de valoració per a cada criteri, sent per a tots, un valor del 1 al 5.

## **COMPLEIX OBJECTIUS I ESPECIFICACIONS TÈCNIQUES**

### *VALORS DE RÚBRICA:*

- **1:** No compleix cap objectiu ni especificació tècnica.
- **2:** No compleix cap objectiu, ajuda a complir alguna especificació tècnica.
- **3:** No compleix cap objectiu, compleix alguna especificació tècnica.
- **4:** Compleix un objectiu i alguna especificació tècnica.
- **5:** Compleix més d'un objectiu amb les corresponents especificacions tècniques.

## **INNOVACIÓ**

### *VALORS DE RÚBRICA:*

- **1:** No hi ha innovació, a més d'estar obsolet.
- **2:** No hi ha innovació.
- **3:** Té alguna característica innovadora.
- **4:** La major part de la solució és innovadora.
- **5:** És una solució totalment innovadora.

## **SOSTENIBLE**

### *VALORS DE RÚBRICA:*

- **1:** No és una solució sostenible en absolut.
- **2:** Solució sostenible econòmicament.
- **3:** Solució sostenible econòmicament i mediambientalment.
- **4:** Solució sostenible, però amb alguns conceptes millorables.
- **5:** És una solució totalment sostenible.

## **RELACIÓ QUALITAT/COST**

### *VALORS DE RÚBRICA:*



- **1:** Relació qualitat/cost inacceptable.
- **2:** Relació qualitat/cost precària. Cost molt elevat.
- **3:** Relació qualitat/cost millorable.
- **4:** Relació qualitat/cost acceptable.
- **5:** Relació qualitat/cost immillorable.

La metodologia emprada en aquest anàlisi és la valoració de cada alternativa de solució mitjançant les rúbriques i llegenda de cada criteri, com s'ha vist en l'annex actual. Es pot observar seguidament, la puntuació obtinguda per a cada alternativa.

### Tipus d'alimentació de sensors

Es valoren les diferents solucions per l'alimentació elèctrica dels sensors, segons el punt de l'avantprojecte de generació i plantejament de possibles alternatives de solució. Les valoracions dels tipus d'alimentacions de sensors, es poden veure a la Taula 4.2, a la Taula 4.3 i a la Taula 4.4.

<b>SENSORS NO CABLEJATS AMB BATERIES</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	2	6
Innovació	2,5	2	5
Sostenible	3	2	6
Relació qualitat/cost	1,5	5	7,5
<b>TOTAL</b>			<b>24,5</b>

Taula 4.2 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors no cablejats amb bateries.

<b>SENSORS NO CABLEJATS SENSE BATERIES</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	5	15
Innovació	2,5	4	10
Sostenible	3	5	15
Relació qualitat/cost	1,5	5	7,5
<b>TOTAL</b>			<b>47,5</b>

Taula 4.3 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors no cablejats sense bateries.

<b>SENSORS CABLEJATS</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	1	3
Innovació	2,5	2	5
Sostenible	3	2	6
Relació qualitat/cost	1,5	4	6
<b>TOTAL</b>			<b>20</b>

Taula 4.4 - Rúbrica de valoració de solució amb sensors cablejats.

### Tipus de xarxa de sensors

Es valoren les diferents solucions per la tipologia de la xarxa dels sensors, segons el punt de l'avantprojecte de generació i plantejament de possibles alternatives de solució. Les valoracions dels tipus de xarxes de sensors, es poden veure a la Taula 4.5 i a la Taula 4.6.

<b>XARXA WIRELESS</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	5	15
Innovació	2,5	2	5
Sostenible	3	5	15
Relació qualitat/cost	1,5	4	6
<b>TOTAL</b>			<b>41</b>

Taula 4.5 - Rúbrica de valoració de solució de xarxa wireless.

<b>XARXA SEMI-CABLEJADA</b>			
<b>CRITERI</b>	<b>PONDERACIÓ</b>	<b>VALORACIÓ</b>	<b>PARCIAL</b>
Compleix objectius i especificacions tècniques	3	2	6
Innovació	2,5	2	5
Sostenible	3	4	12
Relació qualitat/cost	1,5	4	6
<b>TOTAL</b>			<b>29</b>

Taula 4.6 - Rúbrica de valoració de solució de xarxa semi-cablejada.



## **5. Annex 5: Anàlisi viabilitat econòmica.**

Es mostra l'anàlisi realitzat per la justificació de la viabilitat econòmica del projecte proposat, des del punt de vista econòmic.

Seguidament, es detalla el cost determinat per una avaria en un període de 2 anys del sistema Tub Verd sense la millora que aporta el projecte, front el cost determinat per una avaria en el mateix període del sistema Tub Verd amb la millora del projecte aplicada.

La diferència de cost entre una avaria, amb o sense la millora d'eficiència, resulta de temps d'intervenció. S'ha considerat que l'aplicació del projecte aporta una determinació més exacte del lloc on s'ha produït la fuga, per tant, s'ha determinat que la avaria que es produeix cada 2 anys de mitjana, té una durada de resolució de 35 dies laborables sense la millora que aporta el projecte, davant d'una durada de resolució de 12 dies laborables amb la millora que aporta el projecte.

Els criteris de diferenciació davant els dos períodes, son els següents:

- Costos de llogar un martell d'obra (Germans Homs), a un cost d'eina per dia d'utilització.
- Costos d'hores de recursos necessaris per les intervencions.
- Cost mitjà de material, referent a un 10% del cost total del material del projecte d'implementació, sense marge de benefici.
- Penalització estatal per tall o absència de subministra als clients de la xarxa.

A la Taula 5.1., es mostra els costos de la intervenció de l'avaria sense el projecte implementat, i amb el projecte implementat, juntament amb el diferencial de cost que aquest anàlisi suposa.

CONCEPTE	DIES D'INTERVENIÓ	HORES D'INTERVENCIÓ	COST DIA [€]	COST HORA [€]	TOTAL PARCIAL [€]
Lloguer martell	35	280	48,6	-	1.701
Hores PMI			-	-	500
Hores MAQ			-	22	6.160
Hores (OP1+OP2)			-	36	10.080
Material			-	-	1.075
Penalització			1.500	-	52.500
<b>Total sense millora</b>					<b>72.016</b>
Lloguer martell	12	96	48,6	-	583,2
Hores PMI			-	-	250
Hores MAQ			-	22	2.112
Hores (OP1+OP2)			-	36	3.456
Material			-	-	1.075
Penalització			1.500	-	18.000
<b>Total sense millora</b>					<b>25.476</b>
<b>DIFERENCIAL DE COST</b>					<b>46.540</b>

Taula 5.1 - Anàlisi de costos d'avaría amb implementació i sense implementació.

## 6. Annex 6: Llistes de control de la viabilitat mediambiental.

Es mostra l'anàlisi de la viabilitat mediambiental, mitjançant les llistes de control següents.

### 6.1 - IDENTIFICACIÓ DELS ELEMENTS BÀSICS DEL PROJECTE

Matèries primeres

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. Quines matèries primeres seran utilitzades?				El projecte utilitza matèries primeres pròpies de semiconductors a l'electrònica.
2. Com seran obtingudes aquestes matèries primeres?				Ja muntades en els aparells electrònics al moment de la compra.
3. En el sistema d'enviament (transport) de les matèries primeres a la localització prevista, s'han tingut en consideració els possibles impactes de tipus ambiental?				En aquest projecte, no hi ha consideracions al respecte.
4. Existeix un pla que lligui el projecte als aspectes ambientals d'extracció, transport i emmagatzematge de les matèries primeres?				No hi ha cap pla que relacioni el projecte amb el tractament de matèries primeres.

## Capacitat assimilativa de la localització

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. S'han considerat llocs o localitzacions alternatius en un esforç d'evitar o mitigar la degradació ambiental?		X		No s'ha considerat cap lloc.
2. Es tenen estudis hidrològics, geològics i meteorològics de la localització per anticipar i minimitzar possibles danys a humans, flora i fauna?		X		No es disposa d'aquesta informació.
3. Les aigües residuals seran abocades directament o indirectament a l'exterior?		X		No existeix generació d'aigües residuals.
4. Quin serà el medi receptor?				
5. S'han fet estudis de les propietats físiques, químiques i biològiques, del medi aquàtic receptor, com ara la temperatura, règim de cabals, oxigen dissolt, demanda química d'oxigen?		X		No es disposa d'aquesta informació.
6. Es generaran residus?, Està prevista la seva caracterització?, On es pensa tractar-los, en el cas que es generin?	X			Els residus generats pel projecte són aquells que es generen indirectament en altres centres de treball per la producció dels elements electrònics. Els possibles residus generats són material electrònic en la seva majoria.

## Fase de Disseny del procés

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. Quins elements han de ser incorporats al disseny de la planta des d'un punt de vista ambiental?				No es necessita cap element a incorporar.
2. S'ha considerat la possibilitat d'utilitzar una tecnologia neta, per a tot el procés, o per alguna de les operacions involucrades?	X			Tot el disseny del projecte s'ha realitzat seguint aquest concepte.

## Fase de Construcció



Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El pla constructiu ha pres en consideració els factors ecològics?				No es disposa d'aquesta informació
2. S'han previst accions per minimitzar el dany ambiental, per la construcció de carreteres, excavacions, farcits, etc.?				No es disposa d'aquesta informació

## Fase d'Operació

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. S'han previst mecanismes de seguretat en el maneig de matèries perilloses, cas que n'hi hagi?		X		No existeixen substàncies perilloses
2. Existeixen riscos d'explosió o abocaments per accident?		X		
3. Està previst un pla de seguretat interna, amb la incorporació de tots els mecanismes operatius necessaris?		X		No es considera incorporar tal documentació
4. S'han pres mesures especials en els sistemes d'emmagatzematge de materials perillosos?		X		No existeixen materials perillosos.
5. S'han previst les precaucions corresponents per prevenir les pèrdues dels tancs d'emmagatzematge?		X		No existeixen.
6. Quins tipus i quantitats de corrents residuals es produiran?		X		
7. Quins sistemes de control de la contaminació estan previstos?		X		Cap sistema de control.
8. Els abocaments previstos, en el cas que n'hi hagi, en sistemes aquàtics (rius, llacs, aigües litorals) són compatibles amb els seus usos presents i futurs, particularment durant els períodes d'estiatge?		X		
9. Poden els corrents residuals tenir efectes sinèrgics amb altres materials?		X		
10. Contenen els corrents residuals materials potencialment tòxics?		X		
11. S'han d'esperar efectes dels abocaments d'aigües residuals al medi receptor, com ara desenvolupament d'algues, mort de peixos, etc.?		X		
12. Està previst el seu monitoratge?, Mitjançant mesures puntuals, periòdiques o en temps real?		X		
13. Quins sistemes estan previstos per eliminar els materials tòxics?	X			En possibles avaries, el material electrònic anirà a la deixalleria.

14. En cas de produir residus, quin sistema de tractament es pensa utilitzar?		X		
15. S'ha considerat el reciclatge d'aquests residus?	X			L'empresa client s'encarrega del seu reciclatge.
16. Quines previsions hi ha per formar el personal de la planta en els aspectes ambientals de gestió de la mateixa?		X		No hi ha previsió de formar al personal en aquests aspectes.
17. De quina manera seran controlades les olors?		X		No esta previst que hi hagi olors

### Aspectes socials i culturals

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. Com i en quin grau la presència i operació del resultat del projecte altera l'entorn de la seva localització, i afecta les activitats econòmiques i socials?	X			En l'aspecte social de la millora de l'eficiència del Tub Verd.
2. Es crearan o accentuaran problemes d'urbanització?		X		No afecta la urbanització
3. S'haurà produït un augment del trànsit?		X		El transit no es veurà afectat

### Aspecte de salut

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. S'hauran de produir emissions que afecten directament o indirectament la salut?		X		No hi ha emissions que afecten la salut.
2. Quins nous problemes de salut es poden plantejar?			X	Exclusivament les persones sensibles a la radiofreqüència.
3. Pot el transport atmosfèric o pels aqüífers, de contaminants afectar la salut, a nivell local o regional?			X	S'afegeix comunicació via radiofreqüència.
4. Quines mesures s'han pres per assegurar als treballadors un programa de seguretat i higiene?				L'empresa que implementarà el projecte s'haurà d'encarregar d'aquesta tasca.

## Residus finals

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. Quina gestió està prevista fer amb els residus finals?			X	No existeix residu final en el procés. En cas d'avaría, l'empresa client s'haurà d'encarregar de reciclar el material electrònic avarià a la deixalleria.

## Futures expansions

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. De quina manera futurs projectes podran afectar el medi ambient?		X		

## 6.2 - PREAVALUACIÓ D'IMPACTE AMBIENTAL

### 6.2.1 - Factors relacionats amb el projecte

## Generalitats

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà efectes especialment complexos en l'ambient?		X		
2. El projecte significarà una pertorbació generalitzada del sòl, neteja del terreny o desbrossament, aplanat o obres subterrànies en gran escala?		X		
3. El projecte significarà alteracions significatives de la utilització actual o prevista del sòl o de planificació urbanística?		X		

4. El projecte exigirà la construcció d'estructures auxiliars d'abastiment d'aigua, energia i combustible?		X		
5. El projecte pot ocasionar alteracions de les conduccions d'aigua?		X		
6. El projecte pot ocasionar la necessitat de modificar la xarxa de clavegueram?		X		
7. El projecte pot ocasionar modificacions dels desaigües en casos de pluges intenses?		X		
8. El projecte pot ocasionar canvis en les xarxes de conducció elèctrica?		X		
9. El projecte exigirà la construcció de noves carreteres o vies d'utilització de tot terreny?		X		
10. La construcció o explotació del projecte provocarà grans volums de trànsit?		X		
11. El projecte significarà desmunt amb explosius, o activitats semblants?		X		
12. El projecte pot ocasionar un increment de la demanda de fonts d'energia existents o un requeriment de noves fonts d'energia?		X		
13. El projecte serà tancat o clausurat després d'un temps limitat de vida?		X		

### Medi atmosfèric

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà emissions atmosfèriques procedents de l'ús de combustibles, de processos de producció, de manipulació de materials, de les activitats de construcció o d'altres fonts?		X		
2. El projecte exigirà la destrucció de residus a través de la crema a cel obert (per exemple, residus d'explotació forestal o de construcció)?		X		

## Medi aquàtic

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte exigirà grans quantitats d'aigua o la producció de grans volums d'aigües residuals o efluent industrial?		X		
2. El projecte significarà una degradació dels models de drenatge existents (incloent la construcció de preses o la desviació de cursos d'aigua o l'augment dels riscos d'inundació)?		X		
3. El projecte exigirà el dragatge de canals o la rectificació del traçat de travessies de cursos d'aigua?		X		
4. El projecte exigirà la construcció de molls o dics?		X		
5. El projecte exigirà la construcció d'estructures mar endins (espigons, plataformes petrolíferes, etc.)?		X		

## Producció de residus

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte pot ocasionar gran quantitat de residus inerts?		X		
2. El projecte pot ocasionar gran quantitat de residus tòxics o especials?		X		
3. El projecte exigirà l'evacuació d'escòries o residus del procés d'exploració minera?		X		
4. El projecte exigirà l'evacuació de residus urbans o industrials?		X		
5. El projecte facilitarà la possibilitat d'increment de contaminants?		X		
6. El projecte podrà contaminar els sòls i les aigües subterrànies?		X		

Sorolls, etc.

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà emissions sonores, vibracions, llum, calor o altres formes de radiació en l'ambient?	X			El projecte provocarà emissió d'ones electromagnètiques.

Riscos

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte violarà els estàndards d'efluents tòxics?		X		
2. La realització del projecte exigirà l'emmagatzematge, manipulació, utilització, producció o transport de substàncies perilloses (inflamables, explosives, tòxiques, radioactives, cancerígenes o mutagèniques)?		X		
3. L'explotació del projecte exigirà la producció de radiacions electromagnètiques o altres que puguin afectar la salut humana o equipaments electrònics?	X			
4. El projecte exigirà la utilització regular de productes químics de control de paràsits i d'herbes nocives?		X		
5. El projecte podrà registrar una fallada operacional que torni insuficient les mesures normals de protecció de l'ambient?		X		
6. El projecte pot ocasionar riscos d'explotació o emissió de substàncies perilloses (pesticides, substàncies químiques, radiacions) com a conseqüència d'un accident o anomalia?		X		
7. El projecte pot ocasionar possibles interferències amb un pla d'emergència o evacuació?		X		
8. El projecte pot ocasionar possibles descensos de la seguretat laboral?		X		

## Aspectes socials

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte pot ocasionar una reducció substancial de la qualitat de l'entorn?		X		
2. El projecte pot ocasionar l'eliminació d'un element singular per la religió?		X		
3. El projecte pot ocasionar algun efecte substancial advers sobre els béns humans?		X		
4. El projecte implicarà llocs de treball per a un gran nombre de treballadors?		X		
5. La mà d'obra tindrà accés apropiat a allotjament i a altres estructures?	X			
6. El projecte implicarà despeses significatives en l'economia local?		X		
7. El projecte provocarà alteracions de les condicions sanitàries?		X		
8. El projecte pot ocasionar alteracions de la localització, distribució, densitat o índex de creixement de la població de l'àrea?		X		
9. El projecte implicarà requisits significatius en termes d'instal·lació de serveis?		X		
10. El projecte pot ocasionar les necessitats d'habitatge generant nova demanda?		X		
11. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea de protecció contra el foc (bombers, ...)?		X		
12. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea de la policia?		X		
13. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea de les escoles?		X		
14. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea de parcs o altres instal·lacions d'esbarjo?		X		
15. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea de manteniment d'instal·lacions públiques incloent carreteres i carrers?		X		

16. El projecte pot ocasionar alguna incidència o generació de noves necessitats de serveis públics en l'àrea d'altres serveis governamentals?		X		
--	--	---	--	--

## 6.2.2 - Factors relacionats amb la localització

### Protecció Jurídica

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte es situa en zones designades o protegides per la legislació de l'Estat membre o pròximes a elles?	X			
2. El projecte se situa en una zona en què les normes de qualitat de l'ambient que estableix la legislació de l'Estat membre són violades?			X	No hi ha informació al respecte.

### Característiques generals

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte se situa en una zona amb característiques naturals úniques?		X		
2. La capacitat de regeneració de les zones naturals, com zones costanera, muntanyoses i forestals, es veurà afectada, de manera negativa, pel projecte?		X		
3. La zona del projecte registra nivells elevats de contaminació o altres danys ambientals?		X		
4. El projecte se situa en una zona on els sòls i / o aigües subterrànies de la qual poden haver estat contaminats ja per usos anteriors?			X	No es té constància d'aquesta informació.



## Dades hidrològiques

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte es situa en terrenys pantanosos, cursos d'aigua o masses d'aigua o en la seva proximitat?		X		
2. El projecte es situa en la proximitat de fonts importants d'aigües subterrànies?		X		

## Característiques paisatgístiques i estètiques

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte se situa en una zona d'elevada qualitat i / o sensibilitat paisatgística?		X		
2. El projecte se situa en una zona visible per a un nombre significatiu de persones?		X		

## Condicions atmosfèriques

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte se situa en una zona subjecta a condicions atmosfèriques adverses (inversions de la temperatura, boires denses, vent violent)?		X		

## Característiques històriques i culturals

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte es situa a les proximitats de patrimonis històric o cultural especialment importants o valuosos?		X		

## Estabilitat

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte se situa en una zona propensa a desastres naturals o accidents provocats per causes naturals o artificials?		X		
2. El projecte se situa en una zona de topografia escarpada que pugui ser propensa a esllavissades del terreny, erosió, etc. ?		X		
3. El projecte se situa en una zona litoral, o pròxima a ella, propensa a erosió?		X		
4. El projecte se situa en una zona propensa a terratrèmols o falles sísmiques?		X		

## Ecologia

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte es situa a les proximitats d'hàbitats especialment importants o valuosos?		X		
2. Hi ha a la zona espècies rares o en vies d'extinció?		X		
3. El lloc es podria revelar resistent a la reconstrucció natural o programada de la vegetació?		X		

## Utilització del sòl

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte entrarà en conflicte amb la política de planificació urbanística o utilització del sòl en vigor?		X		
2. La utilització del sòl proposada podrà entrar en conflicte amb la utilització de sòls veïns (existent o proposta)?		X		
3. El projecte se situa en una zona d'elevada densitat de població o en les proximitats de zones residencials o altres d'utilització del sòl sensibles (ex.: hospitals, escoles, locals de culte, serveis públics)?	X			Al llarg de tot el circuit del Tub Verd.

4. El projecte se situa en un terreny d'elevat valor agrícola?		X		
5. El projecte se situa en una zona d'importància recreativa / turística?		X		

### 6.2.3 - Factors relacionats amb l'impacte ambiental

#### Sòl i Propietats

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte causarà una degradació o pèrdua d'utilització del sòl important?		X		
2. El projecte pot ocasionar canvis de les condicions de sòls inestables o en les subestructures geològiques?		X		
3. El projecte pot ocasionar trencaments, desplaçaments, compactació o descobriment del sòl?			X	Només en cas d'una mala implementació del projecte, per part de l'empresa constructora.
4. El projecte pot ocasionar canvis en la topografia o característiques del relleu de la superfície del sòl?			X	Només en cas d'una mala implementació del projecte, per part de l'empresa constructora.
5. El projecte pot ocasionar destrucció, modificació o cobriment d'alguna singularitat geològica o característica física?		X		
6. El projecte ocasionarà una degradació general del terreny?		X		
7. El projecte pot ocasionar contaminació del sòl?		X		
8. Hi ha risc d'impacte sobre la infraestructura de suport requerida pel projecte (facilitat de disposició de les aigües residuals, camins, subministrament de sistemes d'electricitat i aigua, escoles)?		X		
9. Hi ha risc d'impacte del projecte en l'ús dels sòls veïns?			X	Temporalment en la implementació

10. Hi ha risc d'impacte de les instal·lacions superficials de suport del projecte dels usos dels sòls veïns?			X	Temporalment en la implementació
11. Hi ha risc que les obres subterrànies puguin provocar desastres o accidents?			X	Només en cas d'una mala implementació del projecte, per part de l'empresa constructora.
12. El projecte provocarà la demolició d'estructures o l'ocupació de propietats (cases, jardins, establiments comercials)?		X		

### Erosió

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. És probable que el projecte provoqui erosió?		X		
2. L'adopció de mesures de control de l'erosió podrà comportar altres efectes adversos?		X		
3. El projecte pot causar algun increment de l'erosió del sòl per vent o aigües tant dins de la instal·lació com fora?		X		
4. El projecte provocarà erosió de dunes, o arrossegament del litoral o alteracions adverses en els sistemes costaners?		X		
5. El projecte pot ocasionar canvis en la disposició de les sorres de les platges, modificació de les lleres de rius i llacs per deposició, sedimentació o erosió i canvis del fons del mar i la costa?		X		

### Medi aquàtic

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà impactes en la quantitat i / o qualitat en els subministraments privats o municipals d'aigua?		X		
2. La utilització d'aigua afectarà la disponibilitat dels proveïments locals existents?		X		

3. El projecte afectarà de forma negativa la qualitat, direcció, flux o volum de les aigües superficials o subterrànies a causa de sedimentació, alteracions hidrològiques o abocaments?	X		
4. El projecte pot ocasionar abocament sobre aigües subterrànies o superficials, o alguna alteració de la qualitat de l'aigua superficial o subterrània incloent temperatura, oxigen dissolt, terbolesa i tots els paràmetres habituals?	X		
5. El projecte pot ocasionar canvis en els corrents, en el curs i direcció de moviments d'aigües, tant dolces com marines?	X		
6. El projecte provocarà un augment de partícules en suspensió?	X		
7. El projecte pot ocasionar canvis en els índexs d'absorció, models de drenatge o en els índexs d'evacuació i buidatge superficial?	X		
8. El projecte pot ocasionar alteracions en el curs o flux d'inundacions i avingudes?	X		
9. El projecte provocarà canvis de fluctuació del nivell d'aigua?	X		
10. El projecte provocarà canvis en els gradients de salinitat?	X		
11. El projecte pot ocasionar canvis en la quantitat d'aigües subterrànies, tant a través d'addicions directes o extraccions, o mitjançant la interrupció d'algun aquífer per talls o excavacions?	X		
12. L'alteració natural del curs de l'aigua exercirà un efecte negatiu en els hàbitats naturals (per exemple, velocitat del cabal d'aigua i piscicultura) o altres utilitzacions de l'aigua (pesca, navegació, banys)?	X		
13. El projecte provocarà impacte en la sostenibilitat de les piscifactories tant comercials com recreatives?	X		
14. El projecte provocarà impacte en tot el referent a activitats recreatives relacionades amb l'aigua?	X		
15. El projecte ocasionarà alteracions significatives dels models de l'acció de les ones, moviment de sediments o augment de la circulació de l'aigua?	X		

16. El projecte limitarà la utilització de l'aigua per a fins recreatius, de pesca esportiva, pesca, navegació, recerca, conservació o de caràcter científic?		X		
17. El projecte provocarà la possibilitat d'impacte en l'aigua segons els resultats de tests físics, químics i biològics?		X		
18. El projecte provocarà la possibilitat d'impactes en els sediments segons els resultats de tests físics, químics i biològics?		X		
19. El projecte provocarà la possibilitat d'impactes en els corrents aigües avall?		X		
20. El projecte provocarà impacte en els valors de producció d'aiguamolls?		X		
21. El projecte provocarà impacte en els valors per a la protecció de les zones humides dels desastres naturals (inundacions, grans tempestes ...)?		X		
22. El projecte provocarà impacte com a resultat de la sedimentació obstructiva?		X		
23. El projecte provocarà impacte en la separació i reciclatge dels nutrients inorgànics per les mareas?		X		
24. El projecte provocarà impacte en les aigües dels estuaris?		X		
25. El projecte provocarà impacte en la presència d'aiguamolls únics o amb característiques geològiques úniques?		X		
26. El projecte pot ocasionar exposició de persones o propietats a riscos d'aigües com inundacions, temporals o sismes submarins?		X		

### Qualitat de l'aire

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte pot ocasionar considerables emissions atmosfèriques o deteriorament de la qualitat de l'aire?		X		
2. Les emissions provocades pel projecte poden afectar de forma negativa la salut o el benestar humà, la fauna o la flora, els recursos materials o altres?		X		

3. Les emissions provocades pel projecte poden afectar de forma negativa la salut o el benestar humà, la fauna o la flora, els recursos materials o altres?		X		
4. El projecte pot ocasionar olors molestos?		X		
5. El projecte pot ocasionar generació de pols?			X	Temporalment a la fase d'implementació.

### Condicions atmosfèriques

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte pot ocasionar alteració dels moviments de l'aire, humitat o temperatura o canvis en el clima tant local com regional?		X		
2. El projecte provocarà alteracions del medi físic que puguin afectar les condicions microclimàtiques (turbulència, zones de gel, augment de la humitat, etc.)?		X		
3. El projecte pot ocasionar exposició de persones o béns a riscos geològics, com sismes, esllavissades de terra, allaus de fang, etc.?		X		

### Soroll, etc.

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte pot ocasionar increment dels nivells de soroll existents?		X		
2. El projecte pot ocasionar exposició de les persones a sorolls excessius?		X		
3. El projecte pot ocasionar un augment considerable de les radiacions lumíniques o enlluernaments?		X		
4. El projecte tindrà repercussions en les persones, estructures o altres receptors / elements sensibles o sorolls, vibracions, llum, calor o altres formes de radiació?	X			Ones electromagnètiques.

## Ecologia

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà una reducció de la diversitat genètica?		X		
2. El projecte provocarà la pèrdua física del substrat i del seu hàbitat?		X		
3. El projecte provocarà la pèrdua o degradació d'hàbitats especialment valuosos, d'ecosistemes o d'hàbitats d'espècie rares o en vies d'extinció (tant flora com fauna)?		X		
4. El projecte provocarà impactes en la presència de plantes o animals rars o únics al lloc?		X		
5. El projecte provocarà impactes en la presència de plantes o animals en límits propers del territori?		X		
6. El projecte pot ocasionar un descens de la població piscícola o fauna per sota dels límits d'autosuficiència?		X		
7. El projecte pot ocasionar la introducció de noves espècies de plantes en l'àrea o de barreres per al desenvolupament normal de les espècies existents?		X		
8. El projecte pot ocasionar la reducció del rendiment d'alguna plantació agrícola?		X		
9. El projecte pot ocasionar canvis en la diversitat d'espècies vegetals, o el nombre d'algunes espècies de plantes (incloent arbres, arbusts, herbes, plantacions o plantes subaquàtiques)?		X		
10. El projecte provocarà impactes en els components de la cadena alimentària aquàtica?		X		
11. El projecte provocarà el deteriorament de la reproducció i / o la nutrició de les espècies aquàtiques?		X		
12. El projecte provocarà impactes en els mamífers associats amb els ecosistemes aquàtics?		X		
13. El projecte provocarà impactes en els peixos associats amb els ecosistemes aquàtics?		X		
14. El projecte provocarà impactes en les aus associats amb els ecosistemes aquàtics?		X		



15. El projecte provocarà impactes en els rèptils associats amb els ecosistemes aquàtics?	X		
16. El projecte provocarà impactes en localitzacions aquàtiques especials (marines, en refugis o en santuaris marins)?	X		
17. El projecte provocarà impacte en / o eliminació dels aiguamolls?	X		
18. El projecte provocarà impacte en / o eliminació de fangars?	X		
19. El projecte provocarà impacte en / o eliminació de la vegetació en aigües poc profundes?	X		
20. El projecte provocarà impacte en / o eliminació de complexos d'estanys i corrents superficials?	X		
21. El projecte provocarà la possibilitat d'impactes en els bentos (flora i fauna que es troba al fons del llac o del mar)?	X		
22. El projecte provocarà algun grau d'estrès en les estructures de comunitats biològiques?	X		
23. El projecte pot provocar canvis en la diversitat d'espècies animals, o el nombre d'algunes espècies d'animals (aus, mamífers, rèptils, amfibis, peixos, insectes, crustacis, mol·luscs o qualsevol altre organisme superior)?	X		
24. El projecte pot ocasionar la introducció de noves espècies d'animals en l'àrea o de barreres al moviment d'espècies migratòries?	X		
25. El projecte pertorbarà o perjudicarà la capacitat de reproducció de les espècies o afectarà de forma negativa la migració o les zones d'alimentació, cria, reproducció o descans o comportarà obstacles significatius de les migracions?	X		
26. Els impactes en termes de soroll, vibracions, llum o calor provocades pel projecte pertorbaran a les aus o altres animals?	X		
27. El projecte pertorbarà processos ecològics essencials als sistemes biòtics?	X		
28. El projecte provocarà la introducció d'herbes nocives, paràsits o malalties, o ajudarà a la propagació d'organismes patogènics coneguts, d'organismes nocius / exòtics o d'espècies problemàtiques?	X		

29. El projecte implicarà a gran escala la utilització de plaguicides, fertilitzants o d'altres productes químics que puguin generar residus en el medi terrestre o aquàtic?		X		
30. El projecte augmentarà de forma significativa els riscos d'incendi?		X		
31. La sedimentació resultant del projecte provocarà efectes adversos en la vida aquàtica a causa d'una disminució de la llum disponible?		X		

### Característiques paisatgístiques i estètiques

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte afectarà de manera significativa una zona paisatgísticament atractiu o històrica o culturalment important?		X		
2. El projecte afectarà el panorama del lloc, estant a la vista d'un nombre significatiu de persones?	X			Implementació d'antenes per comunicació a zona urbana.
3. El projecte provocarà impacte en l'estètica-presència de plantes o animals amb alta qualitat visual?		X		
4. El projecte provocarà impacte en l'estètica-presència d'una massa d'aigua associada?		X		
5. El projecte provocarà impacte en l'estètica-tipus d'aiguamolls o diversitat topogràfica?		X		
6. El projecte pot ocasionar una obstrucció per la visibilitat del paisatge o suposarà una visió antiestètica del públic?		X		

## Impactes relacionats amb el trànsit

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte conduirà a alteracions significatives del trànsit (rodat o un altre), amb els conseqüents efectes per a la resta d'usuaris en termes de soroll, qualitat de l'aire, confort, etc., i impactes per altres receptors?		X		
2. Les alteracions de l'accessibilitat resultants del projecte conduiran a un augment del potencial del desenvolupament de la zona?		X		
3. El projecte pot ocasionar la generació d'un substancial increment en el moviment de vehicles?		X		
4. El projecte pot ocasionar un augment del nombre d'aparcaments?		X		
5. El projecte pot ocasionar un impacte substancial sobre els sistemes de transport existents?		X		
6. El projecte pot ocasionar una alteració dels models de circulació existents o moviments de persones i / o béns?			X	Desviació de trànsit temporalment, per implementació de projecte.
7. El projecte pot ocasionar alteracions en el trànsit marí, aeri o ferroviari?		X		
8. El projecte pot ocasionar un increment dels riscos de trànsit per a vehicles de motor, ciclistes o transeünts?			X	Degut a la possible desviació en la fase d'implementació del projecte.

## Impactes socials i de la salut

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte afectarà de manera significativa el mercat laboral o immobiliari de la zona?		X		
2. El projecte provocarà la divisió física d'una població existent?		X		
3. El projecte conduirà a una escassetat d'infraestructures socials en haver de fer front a un augment temporal o permanent de població o de l'activitat econòmica?		X		
4. El projecte afectarà de manera significativa les característiques demogràfiques de la zona?		X		
5. El projecte provocarà impacte en qualitats educacionals o científiques?		X		
6. El projecte pot ocasionar l'exposició de la població a riscos potencials de salut?		X		
7. El projecte pot ocasionar una disminució de la qualitat i / o quantitat de possibles activitats recreatives?		X		
8. El projecte pot ocasionar una alteració o destrucció de béns arqueològics?		X		
9. El projecte pot ocasionar molèsties físiques o estètiques per a monuments arquitectònics existents?		X		
10. El projecte pot ocasionar un canvi potencial sobre el medi físic que podria afectar valors culturals ètnics?				
11. El projecte pot ocasionar restriccions dels usos religiosos i folklòrics a la seva zona d'influència?		X		

Altres

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. Els efectes seran irreversibles?		X		
2. Els efectes són acumulatius amb els d'altres projectes?		X		
3. Els efectes seran sinèrgics?		X		
4. Existeix la possibilitat d'impactes secundaris adversos?		X		

#### 6.2.4 - Consideracions de caràcter general

Pregunta	SI	NO	Potser	Observacions
1. El projecte provocarà controvèrsia pública? El projecte pot suscitar grans preocupacions?		X		
2. Hi ha efectes transfronterers que hagin de ser tinguts en compte?	X			Les dades van a un cloud.
3. El projecte portarà a les generacions futures a efectes irreversibles o inevitables?	X			Una nova manera de conèixer el reaprofitament de energia.
4. El projecte entrarà en conflicte amb la política o legislació internacional, nacional o local en vigor?		X		
5. El projecte exigirà una alteració de la política ambiental en vigor?		X		
6. Existeix legislació sobre el control de la contaminació, que garanteixin l'atenció deguda als impactes ambientals del projecte?		X		
7. El projecte tindrà una importància que excedeixi de l'àmbit local?	X			
8. El projecte implicarà eventuais efectes incerts o que impliquin riscos únics o desconeguts?		X		
9. El projecte pot ocasionar algun rebuig per part d'associacions o organitzacions populars sobre els efectes mediambientals del projecte?		X		

10. El projecte proporcionarà estructures que aconseguixin incentivar un desenvolupament posterior (induït), per exemple a través de l'oferta d'una infraestructura de serveis (urbanització, desenvolupament industrial, requisits de transport)?		X		
11. El projecte necessitarà d'una manera significativa algun recurs l'oferta pugui tornar escassa?		X		
12. El projecte tindrà impacte en l'increment de despeses o ingressos de l'estat, país o govern local (increment de les despeses de les instal·lacions de suport o increment dels ingressos per impostos)?		X		
13. El projecte tindrà impacte econòmic - valor dels aiguamolls com a font de nutrients i / o hàbitat per a la vida aquàtica?		X		
14. El projecte tindrà impactes econòmics - valor com a àrea recreativa?		X		
15. El projecte tindrà impactes econòmics - valor per control d'inundacions / prevenció d'inundacions?		X		
16. El projecte tindrà impactes econòmics - costos de manteniment de ports?		X		
17. El projecte tindrà impacte econòmic en el públic (tant públic com privat) de les instal·lacions de suport al projecte?		X		
18. El projecte tindrà impacte econòmic (tant públic com privat) en la utilització de sòls veïns?		X		
19. Hi ha una o més alternatives del projecte raonablement practicables que compleixin amb els objectius del projecte amb un menor impacte ambiental advers?		X		

## RESUM I CONCLUSIONS

El disseny del projecte s'ha realitzat amb criteris de sostenibilitat a totes les fases. L'anàlisi de les taules de control, genera les següents conclusions:

- No existeix cap residu habitual, tot i que pot haver-hi ocasionalment residu d'aparells electrònics per avaria, que s'hauran de reciclar a la deixalleria local.

- El projecte aprofita l'energia tèrmica de rebuig de circuit tancat del Tub Verd, per alimentar sensors de temperatura que incrementen la eficiència del sistema. Per tant, és un projecte respectuós amb el medi ambient.
- A l'execució del projecte, existiran emissions d'ones electromagnètiques a l'espectre de la radiofreqüència, degudes a la comunicació SigFox per enviament de dades al núvol. Aquest ones electromagnètiques, poden afectar a persones amb electrosensibilitat o aparells electrònics.
- Pot existir una mala implementació del projecte per part de l'empresa que ho realitzarà, creant irregularitats al sòl urbà.
- La implementació del projecte pot originar desviaments de trànsit, afectació als veïns i generació de pols per les obres. Tota aquesta problemàtica serà temporal, durant la fase d'implementació.
- El projecte té un impacte visual a la zona urbana, degut a que s'implementaran dispositius emissors i antenes per a l'enviament de dades del Tub Verd.

Es recull a continuació, les principals accions i factors que s'hauran de prendre en consideració en l'estudi de detall.

### Accions d'impacte

Accions d'impacte		Observacions
Fase de Construcció	Instal·lació del projecte	Les accions d'impacte de la fase de construcció, es consideren però no són importants. Les úniques accions que poden repercutir són les accions relacionades amb l'obra pública.
Fase d'Explotació	Pròpia utilització del projecte	En la fase d'explotació no s'observa cap impacte important que pugui afectar. És te en compte el correcte emmagatzematge de les dades. Es considera possibles residus electrònics provocats per avaries.
	Mal funcionament dels equips	
	Manteniment del sistema	

**Factors ambientals d'impacte**

	<b>Factor Ambiental</b>	<b>Impacte sobre ...</b>
<b>Medi Natural</b>	Atmosfera	Ones electromagnètiques.
	Sòl	No s'ha contemplat cap impacte rellevant
	Aigua	No hi ha impacte aparent
	Flora	No hi ha impacte en absolut
	Fauna	No hi ha impacte en absolut
	Medi perceptual	No hi ha impacte aparent
<b>Medi Socioeconòmic</b>	Usos del territori	No hi ha canvis significatius en els usos del territori
	Culturals	No sembla que hi hagi impactes en aquest àmbit
	Infraestructura	No sembla que hi hagi impactes en les infraestructures socials
	Humans	No s'aprecia cap impacte important sobre els humans
	Economia i població	No hi ha impacte en absolut



## 7. Annex 7: Informació de tasques del projecte.

Es detalla les tasques del projecte, tant de la fase de disseny, com de la fase d'implementació, a la Taula 7.1. i a la Taula 7.2, respectivament.

Nom de la tasca	Duració	Inici	Fi	Prelacions	Recursos
<b>AVANTPROJECTE</b>	<b>31,13 dies</b>	<b>diss 11/11/17</b>	<b>dij 11/01/18</b>		
<b>1-Identificació estudi</b>	<b>12,38 dies</b>	<b>diss 11/11/17</b>	<b>dium 03/12/17</b>		
1.1-Objecte	10 hores	diss 11/11/17	dium 12/11/17		PM
1.2-Anteced. I nec. D'info.	80 hores	dill 13/11/17	div 01/12/17	1.1	PM
1.3-Abast	3 hores	diss 02/12/17	diss 02/12/17	1.2	PM
1.4-Objectius i esp. Tec.	6 hores	diss 02/12/17	dium 03/12/17	1.3	PM
<b>2-Selecció d'alt. Més adeq.</b>	<b>2,38 dies</b>	<b>diu 03/12/17</b>	<b>div 08/12/17</b>		
2.1-Generació pos. Altern.	5 hores	diu 03/12/17	dill 04/12/17	1.4	PM
2.2-Selecció de l'alternativa	14 hores	dima 05/12/17	div 08/12/17	2.1	PM [50%]
<b>3-Anàlisi de la viabilitat</b>	<b>7,38 dies</b>	<b>div 08/12/17</b>	<b>div 22/12/17</b>		
3.1-Viabilitat tècnica	24 hores	div 08/12/17	dime 13/12/17	2.2	PM [25%]
3.2-Viabilitat econòmica	35 hores	dij 14/12/17	div 22/12/17	3.1	PM [50%]
3.3-Viabilitat mediambiental	8 hores	div 08/12/17	dium 10/12/17	2.2	PM [25%]
<b>4-Planificació del projecte</b>	<b>1,88 dies</b>	<b>dij 14/12/17</b>	<b>dium 17/12/17</b>		
4.1-Definició de tasques	3 hores	dij 14/12/17	dij 14/12/17	3.1	PM [25%]
4.2-Gantt amb MS Project	15 hores	dij 14/12/17	dium 17/12/17	4.1	PM [25%]
5-Desenv. de la solució	20 hores	div 22/12/17	dima 26/12/17	3.2	PM
6-Pressupost	24 hores	dima 26/12/17	dij 04/01/18	5	PM
7-Entrega avantprojecte	0 dies	dij 11/01/18	dij 11/01/18	6	PM
<b>PROJECTE DE DETALL</b>	<b>69,13 dies</b>	<b>div 02/02/18</b>	<b>dill 11/06/18</b>		
8-Intro. al projecte de detall	40 hores	div 02/02/18	dium 11/02/18	7+12 dies	PM
9-Marc conceptual	50 hores	diu 11/02/18	div 23/02/18	8	PM
<b>10-Desenv. de la solució</b>	<b>26,25 dies</b>	<b>div 23/02/18</b>	<b>div 13/04/18</b>		
10.1-Disseny i càlculs	150 hores	div 23/02/18	div 30/03/18	9	PM
10.2- Informe i conclusions	60 hores	div 30/03/18	div 13/04/18	10.1	PM
11-Anàlisi de resultats	90 hores	div 13/04/18	div 04/05/18	10.2	PM
12-Desviac. de planificació	35 hores	div 04/05/18	diss 12/05/18	11	PM
13-Conclusions i tancament	60 hores	diss 12/05/18	diss 26/05/18	12	PM
<b>Entrega de projecte detall</b>	<b>0 dies</b>	<b>Dill 11/06/18</b>	<b>dill 11/06/18</b>	<b>13</b>	<b>PM</b>

Taula 7.1 - Tasques del projecte, fase de disseny.

Nom de la tasca	Duració	Inici	Fi	Prelacions	Recursos
1-Compra de materials	7 dies	dill 04/02/19	dima 12/02/19		PMI [25%]
<b>2-Muntatge</b>	<b>30 dies</b>	<b>dime 13/02/19</b>	<b>dima 26/03/19</b>		
2.1-Connexió	5 dies	dime 13/02/19	dimar 19/02/19	1	PIT
2.2-Programació	15 dies	dime 20/02/19	dimar 12/03/19	2.1	PIT
2.3-Proves i verificació	10 dies	dime 13/03/19	dimar 26/03/19	2.2	PIT
3-Identificació zona urbana	20 dies	dime 13/02/19	dimar 12/03/19	1	PMI [25%]
<b>4-Obra a zona urbana</b>	<b>45 dies</b>	<b>dime 13/03/19</b>	<b>dime 15/05/19</b>		
4.1-Excavació	22 dies	dime 13/03/19	dij 11/04/19	3	MAQ
4.2-Muntatge	18 dies	div 12/04/19	dime 08/05/19	4.1	O1;O2;PMI [25%]
4.3-Proves i verificació	5 dies	dij 09/05/19	dime 15/05/19	4.2	PIT;O1
5-Proves i validació	7 dies	dij 16/05/19	div 24/05/19	4.3	PIT;PMI

Taula 7.2 - Tasques del projecte, fase d'implementació.

## **8. Annex 8: Datasheets.**

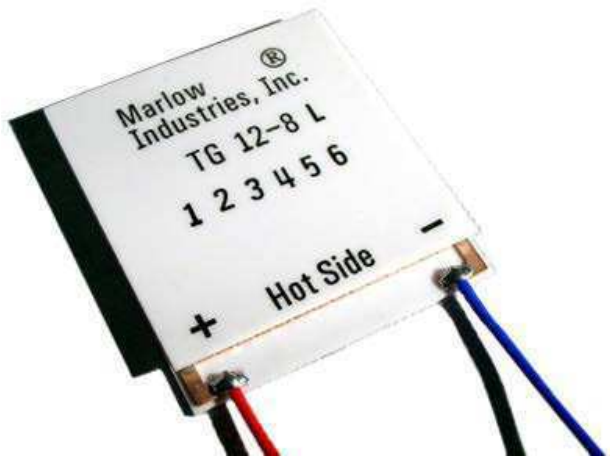
Seguidament es mostren tots els fulls d'especificacions de fabricants del capítol de viabilitat del projecte.





# Technical Data Sheet for TG12-8

## Thermoelectric Generator



### NOMINAL PERFORMANCE IN NITROGEN

Tc (°C)	27±2
ACR (Ω)	1.36 – 1.69
Device ZT	0.73

### PRODUCT FEATURES

- RoHS EU Compliant
- Rated operating temperature of 200°C.
- Ceramic Material: Aluminum Oxide
- Porch configuration for high strength leadwire connection.
- Superior nickel diffusion barriers on elements.
- High strength for rugged environment.
- RTV sealing option available.
- Lapped option available for multiple module applications.

### ORDERING OPTIONS

Model Number	Description
TG12-8-01	Leadwires
TG12-8-01L	Leadwires, Lapped
TG12-8-01S	Leadwires, Sealed
TG12-8-01LS	Leadwires, Lapped, Sealed
TG12-8-01G	Leadwires, Graphite Pads
TG12-8-01LG	Leadwires, Lapped, Graphite Pads
TG12-8-01SG	Leadwires, Sealed, Graphite Pads
TG12-8-01LSG	Leadwires, Lapped, Sealed, Graphite Pads

### OPERATION CAUTIONS

For maximum reliability, continuous operation below 200°C (cold side and hot side) is recommended. Intermittent operation up to 230°C on the hot side of the TG is permissible.

### INSTALLATION

Recommended mounting methods: Clamp with uniform pressure to a flat surface with thermal interface material. Recommended 1.4 MPa (200 psi) with thermal grease or flexible graphite pads. For additional information, please contact an applications engineer.

II-VI Marlow – Dallas, TX USA  
214-340-4900  
877-627-5691  
marlow.sales@ii-vi.com

Marlow Industries Europe  
GmbH - Germany  
+49 (0) 6150 5439 - 403  
info@marlow-europe.eu

II-VI Japan Inc.  
81 43 297 2693 (tel)  
center@ii-vi.co.jp  
www.ii-vi.co.jp

II-VI Singapore Pte., Ltd.  
(65) 6481 8215 (tel)  
info@ii-vi.com.sg

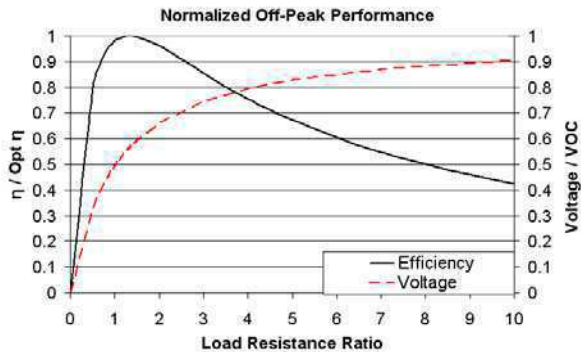
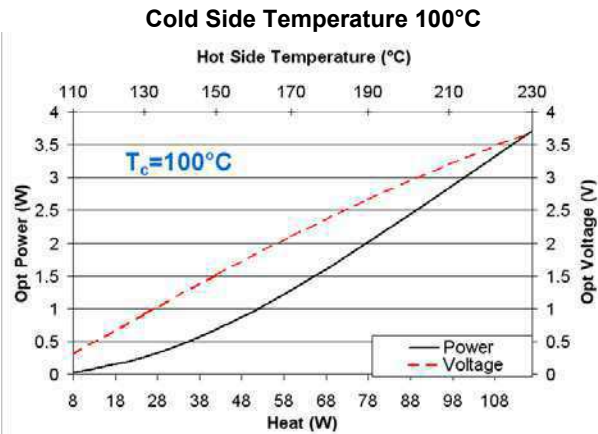
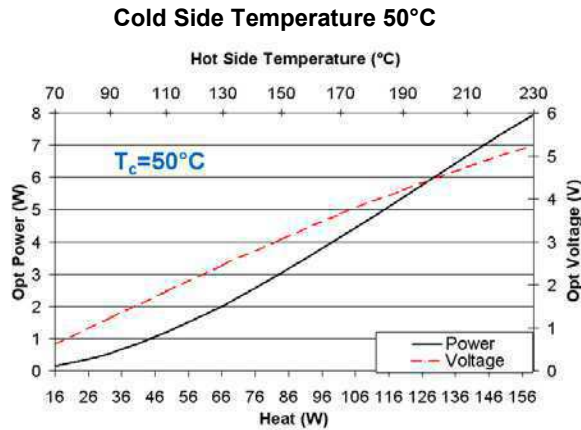
Marlow Industries China, II-VI  
Technologies Beijing  
86-10-643 98226  
info@iivbj.com



TYPICAL PERFORMANCE CURVES

## POWER GENERATION PERFORMANCE CURVES

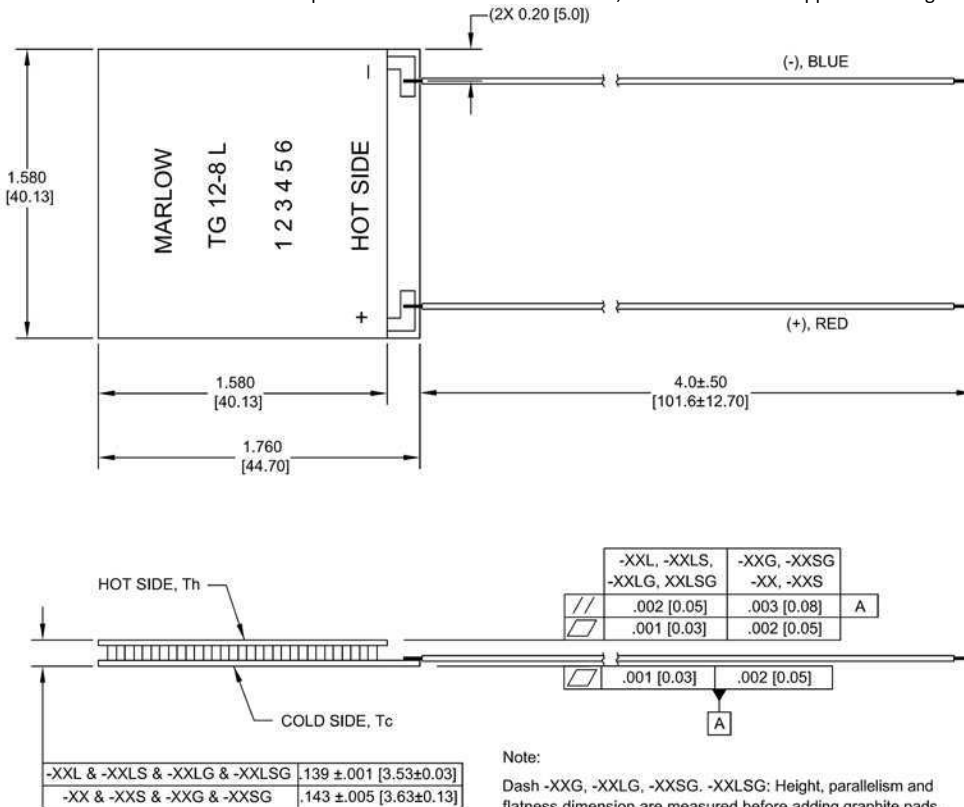
ENVIRONMENT: ONE ATMOSPHERE DRY NITROGEN



Hot Side Temperature (°C)	230	170	110
Cold Side Temperature (°C)	50	50	50
Optimum Efficiency, $\eta$ (%)	4.97	4.08	2.39
Optimum Power (W)	7.95	4.17	1.19
Optimum Voltage (V)	5.25	3.65	1.86
Load Resistance for Opt $\eta$ ( $\Omega$ )	3.46	3.20	2.90
Open Circuit Voltage, VOC (V)	9.43	6.48	3.27
Closed Circuit Current (A)	3.38	2.60	1.48
Thermal Resistance (°C/W)	1.13	1.17	1.20

For performance information in a vacuum or with hot side temperatures other than 50°C or 100°C, contact one of our Applications Engineers at 877-627-5691.

MECHANICAL CHARACTERISTICS



Dimensions in [ ] are millimeters

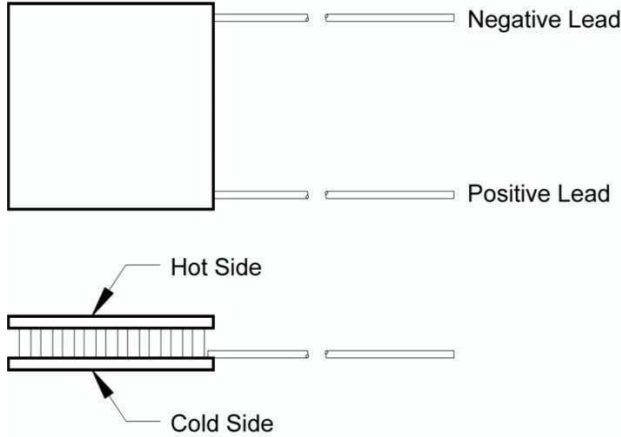
For customer support or general questions please contact a local office or visit our website at [www.marlow.com](http://www.marlow.com).



Performance information is given in a nitrogen environment and cold side temperatures of 50°C and 100°C. TG device temperature does not include thermal resistance of heat sinks, Thermal Interface Materials (TIM) such as graphite pads or thermal greases, and clamping techniques. Hot side and cold side temperatures represent the temperatures of the hot and cold ceramics on the module. For performance information in vacuum, other cold side temperatures, or specific heat sinks and TIM materials, consult our applications engineers.

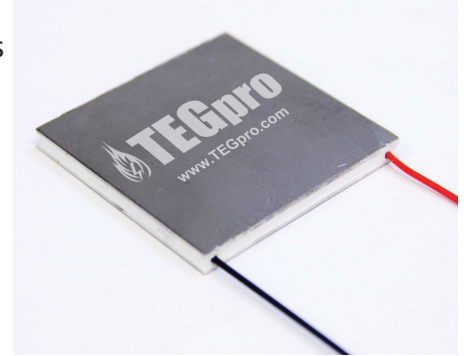
## TYPICAL POWER GENERATION CONFIGURATION

EXAMPLE:



## Product Overview

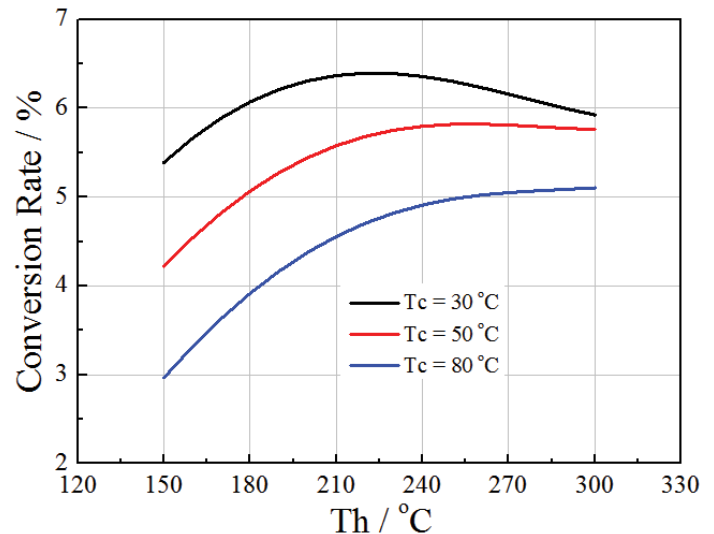
Our TEG power module is specifically designed and manufactured to convert high temperature heat sources directly into electricity. The Bi-Te based thermoelectric modules can operate at temperatures as high as 330 °C (626 K) continuously and up to 400 °C (752 K) intermittently. The module will generate DC voltage if there is a temperature difference across the module. Power is generated as the temperature difference across the module increases. The efficiency of the module will also increase as well. Thermally conductivity graphite sheets have been applied to both sides of the ceramic plates to provide low contact thermal resistance. Therefore you do not need to apply thermal grease or other heat transfer compound when you install the module. The graphite sheet works very well in high temperatures.



## Specifications

Hot Side Temperature (°C)	300
Cold Side Temperature (°C)	30
Open Circuit Voltage (V)	14.4
Matched Load Resistance (ohms)	2.4
Matched load output voltage (V)	7.2
Matched load output current (A)	3.0
Matched load output power (W)	21.6
Heat flow across the module(W)	≈ 415
Heat flow density(W cm <sup>-2</sup> )	≈ 13.2
AC Resistance (ohms) Measured under 27 °C at 1000 Hz	1.1 ~ 1.35

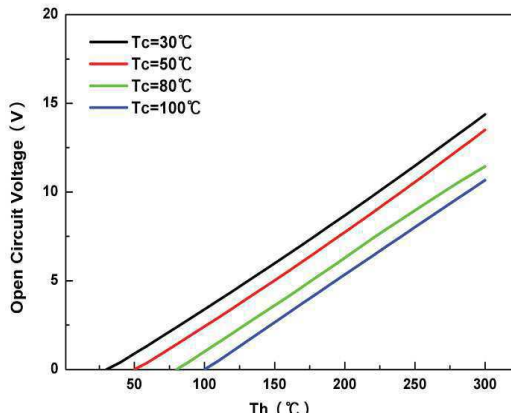
## Specification of the Module



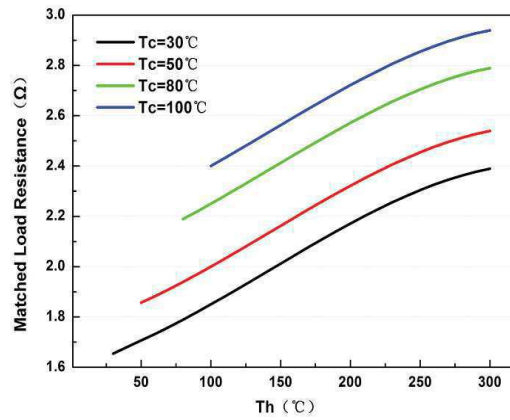
Note: Conversion rate = Matched load output power/Heat flow through the module



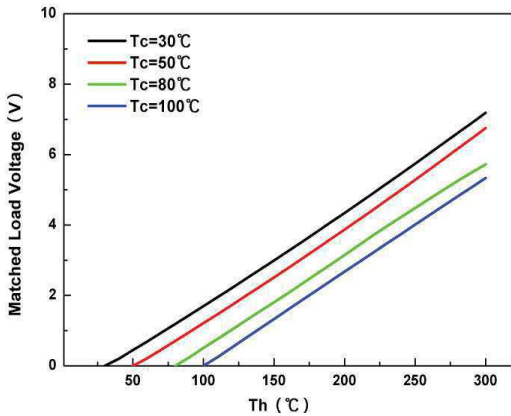
## Performance



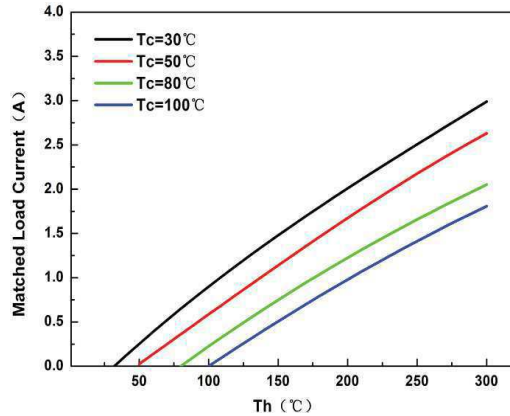
The chart for open circuit voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



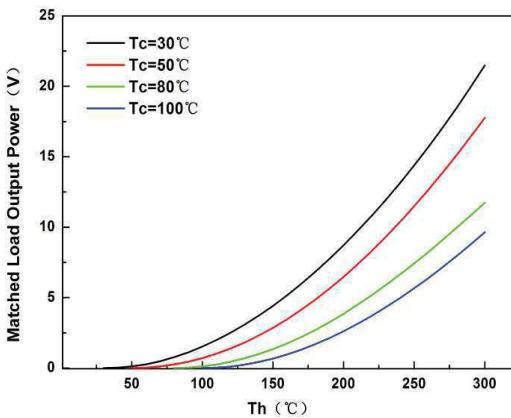
The chart for matched load resistance Vs  $T_h$  under various  $T_c$



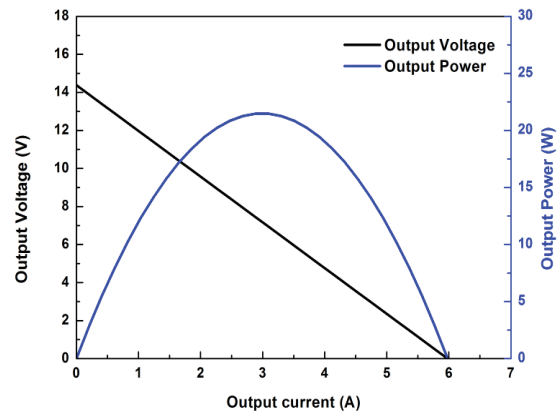
The chart for matched load voltage Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load current Vs  $T_h$  under various  $T_c$



The chart for matched load output power Vs  $T_h$  under various  $T_c$

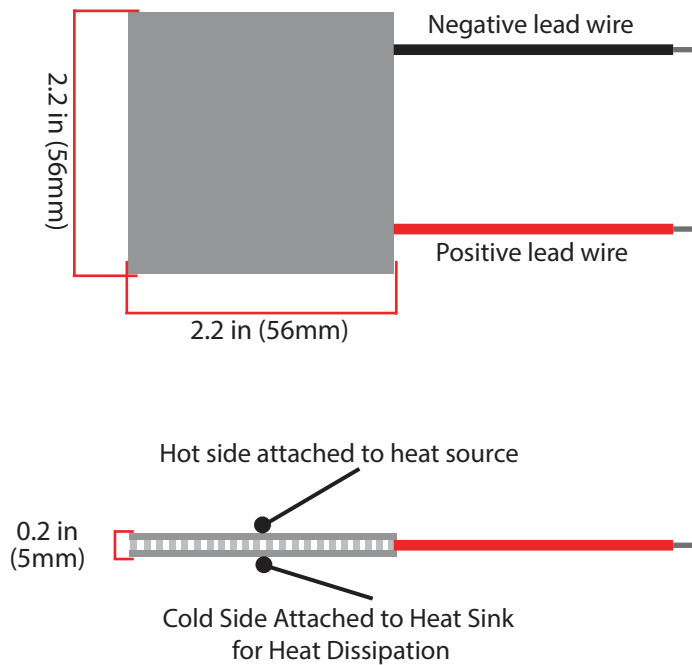
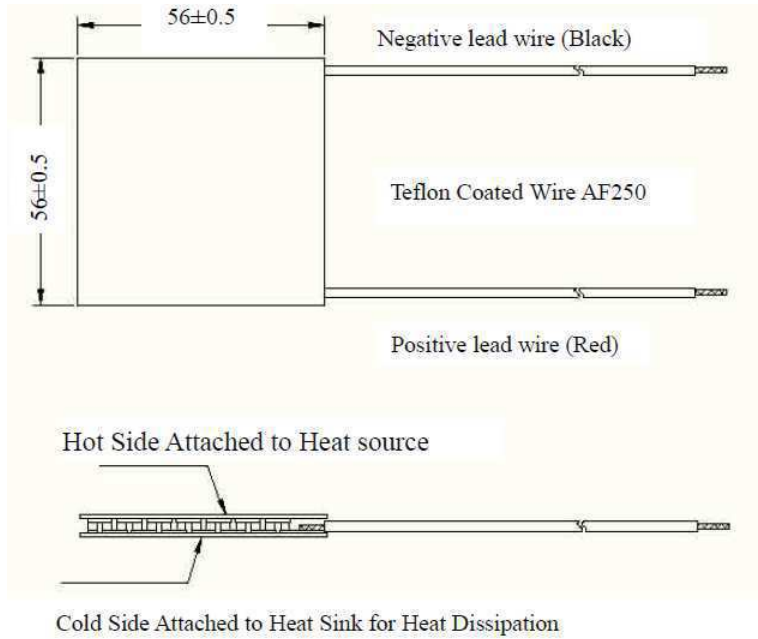


The chart for output voltage and output power Vs output current under  $T_h=300^\circ\text{C}$  and  $T_c=30^\circ\text{C}$

©2014 TEGpro www.tegpro.com.

Specifications subject to change without notice. Nov, 2014 - Rev 1.0

## Dimensions

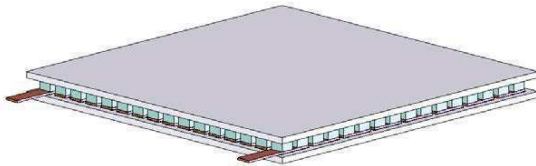




6 Aerodromnaya street, Saint-Petersburg, 197348 Russia

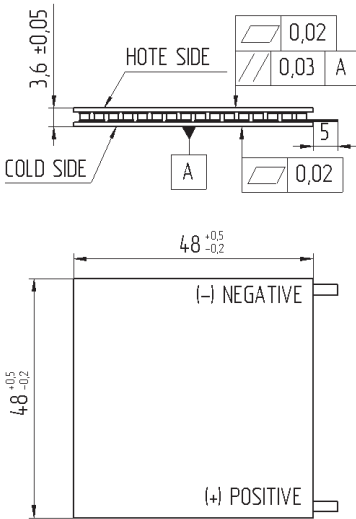
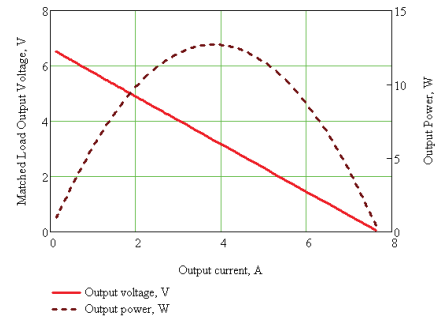
Tel: +7 812 394-13-10, fax: +7 812 394-12-67, E-mail: info@kryotherm.ru, http://www.kryothermtec.com

**SPECIFICATION OF GENERATING THERMOELECTRIC MODULES TGM-127-2.0-1.3**



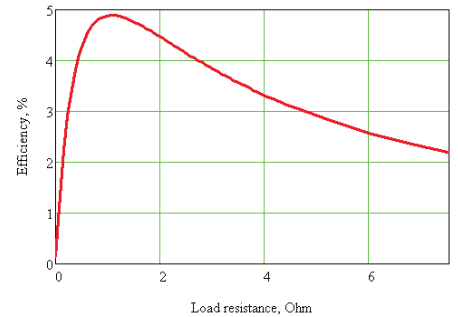
Thermoelectric parameters	Unit	Value
<b>Output power, P*</b> (at $T_h=200^\circ\text{C}$ , $T_c=30^\circ\text{C}$ )	W	12,6
$I_{load}^*$	A	4,1
$U_{load}^*$	V	3,1
$R_{ac}$ (at $200^\circ\text{C}$ ), $\pm 10\%$	Ohm	0,75
$R_t$	K/W	0,69

\* for  $R_{load}=R_{ac}$   
 $R_{ac}$  – internal TGM resistance at working temperature;  
 $R_{load}$  – load resistance;  
 $R_t$  – heat resistance.



Operation parameters	Unit	Value
Working temperature	$^\circ\text{C}$	200
Max. processing temperature	$^\circ\text{C}$	220

Additional options	Notations
Height tolerance up to, mm	$\pm 0,015$
Flatness up to, mm;	0,01
Parallelism up to, mm;	0,01
Sealants: epoxy, urethane	E, U
Type and length of lead wires	Up to customer's requirements
Assembling into arrays	



Please refer to our standard assembling recommendations at our [site](#)

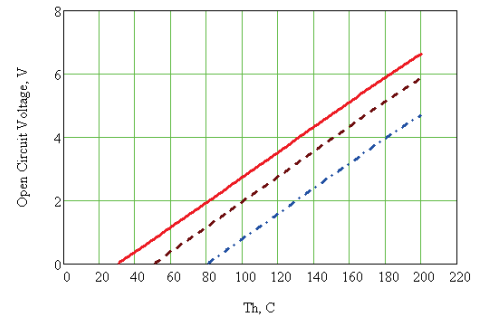
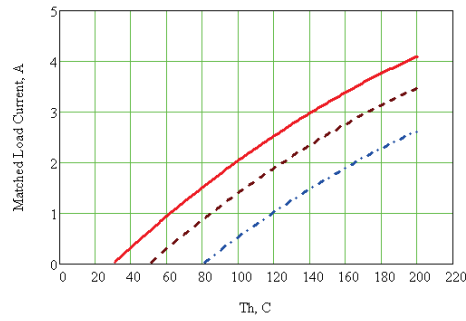
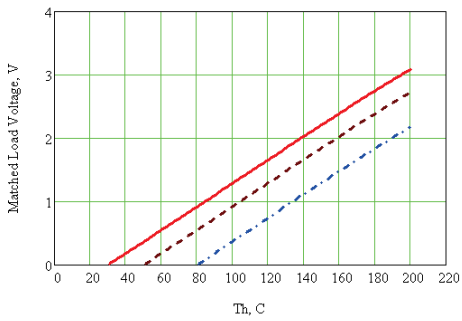
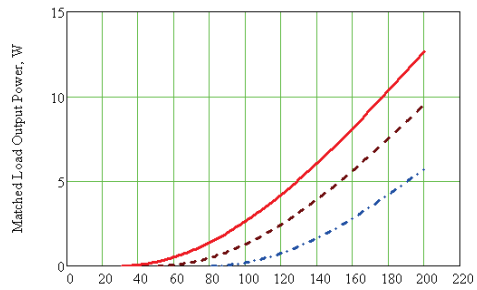
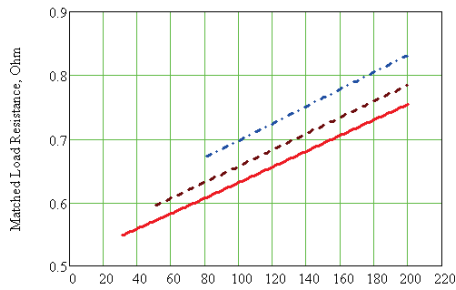


**KRYOTHERM**

6 Aerodromnaya street, Saint-Petersburg, 197348 Russia

Tel: +7 812 394-13-10, fax: +7 812 394-12-67, E-mail: info@kryotherm.ru, http://www.kryothermtec.com

**SPECIFICATION OF GENERATING THERMOELECTRIC MODULES TGM-127-2.0-1.3**



- Tc=30°C
- - - Tc=50°C
- · - · Tc=80°C

Kryotherm

Customer

# Multi-Sensor High Accuracy Digital Temperature Measurement System

## FEATURES

- Directly Digitize RTDs, Thermocouples, Thermistors and Diodes
- Single 2.85V to 5.25V Supply
- Results Reported in °C or °F
- 20 Flexible Inputs Allow Interchanging Sensors
- Automatic Thermocouple Cold Junction Compensation
- Built-In Standard and User-Programmable Coefficients for Thermocouples, RTDs and Thermistors
- Configurable 2-, 3- or 4-Wire RTD Configurations
- Measures Negative Thermocouple Voltages
- Automatic Burn Out, Short-Circuit and Fault Detection
- Buffered Inputs Allow External Protection
- Simultaneous 50Hz/60Hz Rejection
- Includes 15ppm/°C (Max) Reference (I-Grade)

## APPLICATIONS

- Direct Thermocouple Measurements
- Direct RTD Measurements
- Direct Thermistor Measurements
- Custom Sensor Applications

## DESCRIPTION

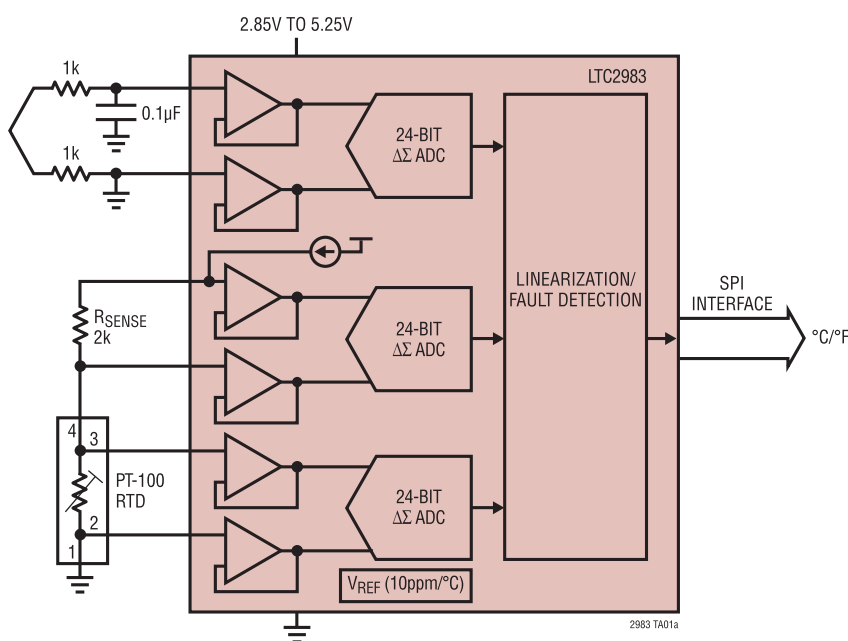
The **LTC®2983** measures a wide variety of temperature sensors and digitally outputs the result, in °C or °F, with 0.1°C accuracy and 0.001°C resolution. The LTC2983 can measure the temperature of virtually all standard (type B, E, J, K, N, S, R, T) or custom thermocouples, automatically compensate for cold junction temperatures and linearize the results. The device can also measure temperature with standard 2-, 3- or 4-wire RTDs, thermistors and diodes. It has 20 reconfigurable analog inputs enabling many sensor connections and configuration options. The LTC2983 includes excitation current sources and fault detection circuitry appropriate for each type of temperature sensor.

The LTC2983 allows direct interfacing to ground referenced sensors without the need for level shifters, negative supply voltages, or external amplifiers. All signals are buffered and simultaneously digitized with three high accuracy, 24-bit  $\Delta\Sigma$  ADCs, driven by an internal 15ppm/°C (maximum) reference.

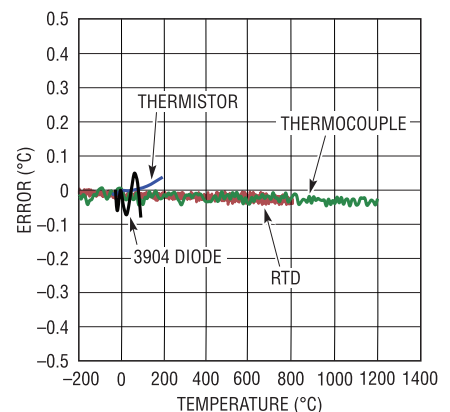
LT, LTC, LTM, Linear Technology and the Linear logo are registered trademarks of Linear Technology Corporation. All other trademarks are the property of their respective owners. Patents Pending

## TYPICAL APPLICATION

### Thermocouple Measurement with Automatic Cold Junction Compensation



### Typical Temperature Error Contribution

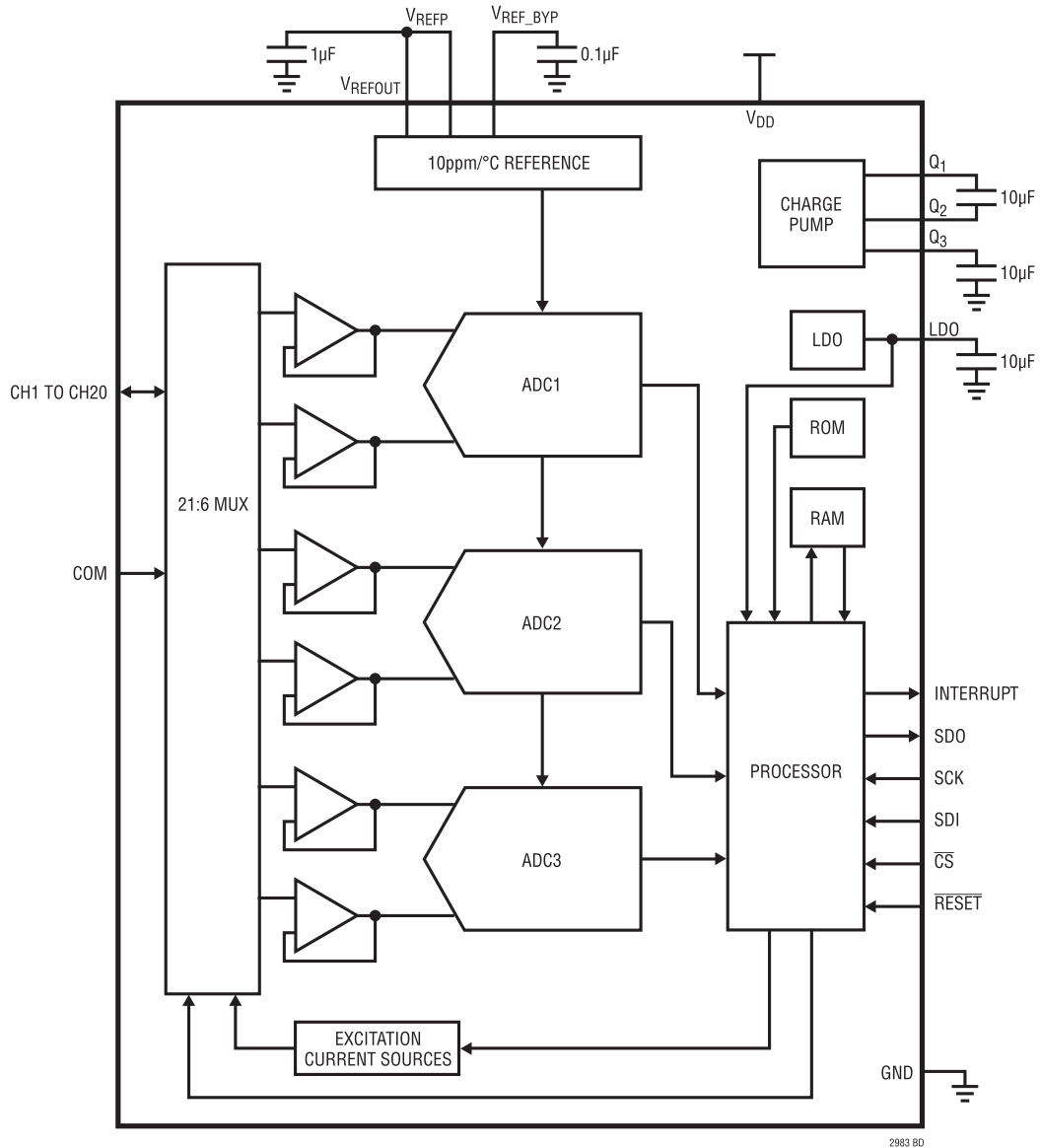


2983 TA01b

2983fc

# LTC2983

## BLOCK DIAGRAM



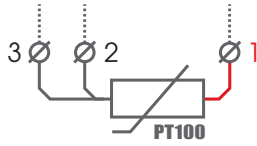
2983fc

# SONDA DE TEMPERATURA PT100 para Superficie tipo Terminal

Pt-S12D6-2M

modelo

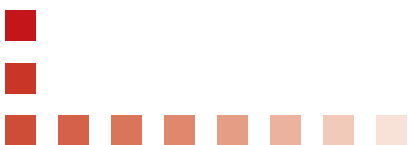
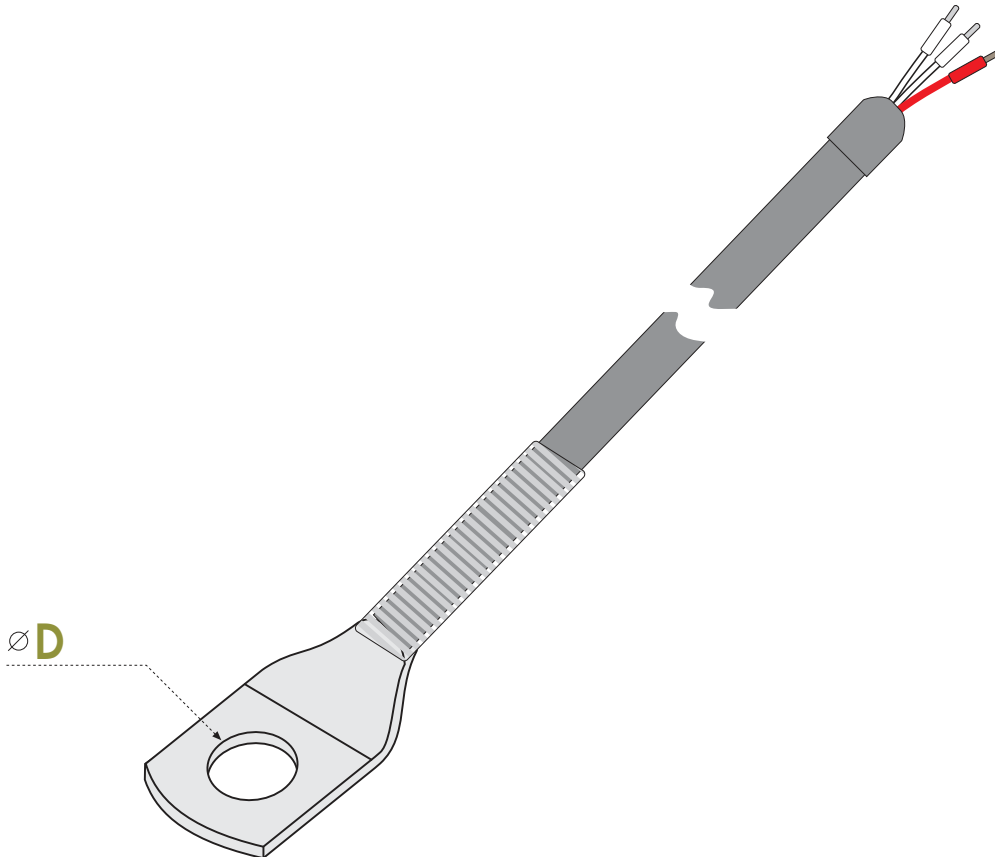
Pt-SSDD-XM



X Longitud de Cable  
D Diámetro  
S Longitud terminal

## CARACTERÍSTICAS

- Máxima temperatura de trabajo de la terminal:  $-50^{\circ}\text{C}$  /  $+250^{\circ}\text{C}$  \* otras temperaturas (consultar)  
Máxima temperatura de trabajo del cable silicona:  $-50^{\circ}\text{C}$  /  $+120^{\circ}\text{C}$
- Sensor interno de temperatura: clase DIN B ( $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  a  $25^{\circ}\text{C}$ )
- Espesor: 1,4mm. Terminal chafado 12 x 9mm para diámetro de 6mm. Acero inoxidable AISI-316L  
Espesor: 2mm. Terminal acoplado 17 x 15mm para diámetro de 8mm
- Cable de Silicona: 3 hilos  $\varnothing$ :4mm X Longitud de Cable: 2mts, 3mts, 10mts



# Waspote

## General data:

<b>Microcontroller:</b>	ATmega1281
<b>Frequency:</b>	14.7456 MHz
<b>SRAM:</b>	8 kB
<b>EEPROM:</b>	4 kB
<b>FLASH:</b>	128 kB
<b>SD card:</b>	2 GB
<b>Weight:</b>	20 g
<b>Dimensions:</b>	73.5 x 51 x 13 mm
<b>Temperature range:</b>	[-10 °C, +65 °C]
<b>Clock:</b>	RTC (32 kHz)



Figure: Waspote

## Consumption:

<b>On:</b>	17 mA
<b>Sleep:</b>	30 µA
<b>Deep Sleep:</b>	33 µA
<b>Hibernate:</b>	7 µA
<b>Operation without recharging:</b>	1 year*

\* Time obtained using the Hibernate mode as energy saving mode

## Inputs/Outputs:

7 analog (I), 8 digital (I/O), 1 PWM, 2 UART, 1 I2C, 1 USB, 1 SPI

## Electrical data:

<b>Battery voltage:</b>	3.3 – 4.2 V
<b>USB charging:</b>	5 V – 480 mA
<b>Solar panel charging:</b>	6 - 12 V – 330 mA

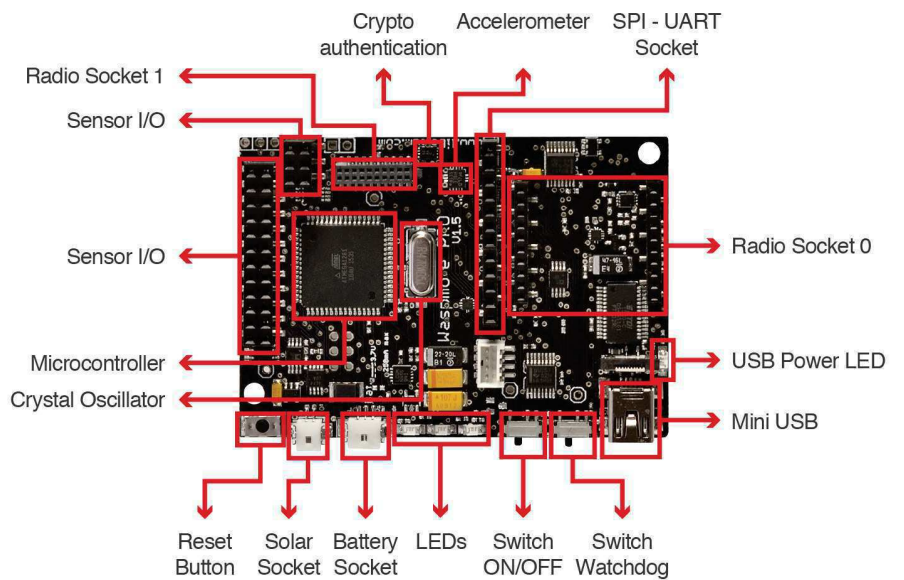


Figure: Waspote board top

## Built-in sensors on the board:

**Accelerometer:** ±2g/±4g/±8g  
 Low power: 0.5/1/2/5/10 Hz  
 Normal mode: 50/100/400/1000 Hz

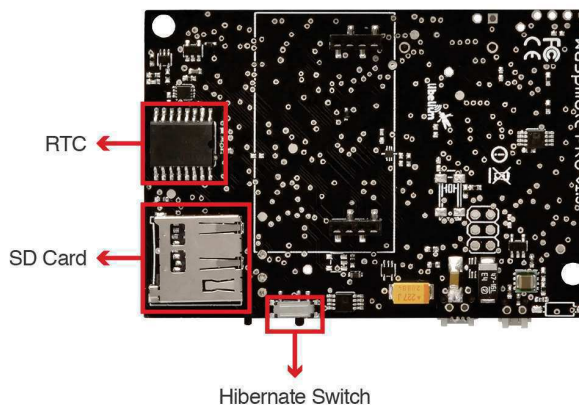


Figure: Waspote board bottom



# Sigfox modules

**Frequency:**

- Sigfox EU module: ISM 868 MHz
- Sigfox US module: ISM 900 MHz

**TX Power:**

- Sigfox EU module: 16 dBm
- Sigfox US module: 24 dBm

**ETSI limitation:** 140 messages of 12 bytes, per module per day

**Range:** Typically, each base station covers some km. Check the [Sigfox Network](#)

**Chipset consumption:**

- Sigfox EU module: TX 51 mA @ 14 dBm
- Sigfox US module: TX 230 mA @ 24 dBm

**Radio data rate:** 100 bps

**Receive sensitivity:** -126 dBm

**Sigfox certificate:** Class 0u (the highest level)

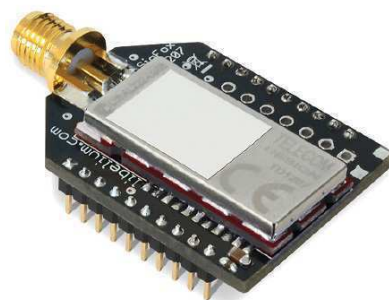


Figure: Sigfox module



Figure: Sigfox network



# Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

**APROFITAMENT DE L'ENERGIA TÈRMICA DEL TUB VERD PER LA CREACIÓ  
D'UN SISTEMA DAQ SENSE FILS**

**Annexos**

**JORDI POZO PEIRIS  
PONENT: VIRGINIA ESPINOSA DURÓ**

PRIMAVERA 2018



**TecnoCampus  
Mataró-Maresme**



## **Índex.**

Índex de taules.....	III
1. Annex 1: Tancament del projecte. ....	5
1.1. Desviacions de la planificació. ....	5
1.2. Desviacions econòmiques.....	7
1.3. Justificació de les desviacions. ....	7
1.4. Grau d'assoliment d'objectius del projecte.....	8
1.5. Punts forts i febles del projecte.....	9
1.5.1. Punts forts.....	9
1.5.2. Punts febles. ....	10
1.6. Possibles millores i futures línies de treball.....	11
2. Annex 2: Informació de tasques del projecte.....	13



## **Índex de taules.**

Taula 2.1 - Tasques del projecte, fase de disseny ..... 13

Taula 2.2 - Tasques del projecte, fase d'implementació..... 14





# **1. Annex 1: Tancament del projecte.**

## **1.1. Desviacions de la planificació.**

La planificació s'ha acomplert fins el punt d'entrega de l'avantprojecte. A partir d'aquesta tasca, s'han realitzat una sèrie de reestructuracions per ajustar el projecte a les necessitats del client, aquestes modificacions han significat un canvi a la planificació de l'avantprojecte i han estat tractades com a desviacions a la planificació del projecte.

Les desviacions s'han classificat com a desviacions per canvi, o desviacions per imprevistos. Les desviacions per canvi, han estat les d'anular la tasca 11 de l'avantprojecte i incorporació d'alguna tasca, com la d'assemblatge i repàs de la documentació del projecte. Les desviacions per imprevistos han estat principalment relacionades amb l'augment del temps de la tasca 10, per problemes i volum de treball. És per això que s'ha realitzat una nova programació de les tasques del projecte per ser adaptat a la realitat existent.

S'han mencionat les tasques generals del disseny del projecte, mostrant-se a partir de la fita entrega de l'avantprojecte, ja que a partir d'aquesta fita és quan han existit les desviacions.

- 8 Introducció al projecte de detall.
- 9 Reestructuració de la informació.
- 10 Marc conceptual.
- 11 Desenvolupament de la solució.
- 12 Desviacions de la planificació.
- 13 Conclusions i tancament del projecte.
- 14 Assemblatge i repàs de documentació.

S'han mencionat altra cop, les tasques generals de la implementació del projecte, tot i que no s'han vist modificades ni han patit cap desviació, ja que la present memòria no s'ocupa del seguiment de la fase d'implementació.

- 1 Compra de materials.
- 2 Muntatge.
- 3 Identificació de zones urbanes on actuar.
- 4 Obra a zona urbana.
- 5 Proves i validació.

Es pot observar que les tasques planificades a l'avantprojecte, són diferents a les planificades al projecte de detall. S'han comentat les modificacions de les tasques seguidament, a més del detall que impliquen les modificacions a nivell temporal.

**8. Introducció al projecte de detall:** S'han reduït les hores de 40 hores a 10 hores, degut a una reducció de tasca.

**9. Reestructuració d'informació:** Incorporació de nova tasca, de 0 hores a 30 hores.

**10. Marc conceptual:** S'ha reduït de 50 hores a 25 hores, per motius d'optimització de treball.

**11. Desenvolupament de la solució:** S'ha augmentat de 210 hores a 365 hores, per motius d'un increment considerable de treball, a més de problemes per aconseguir informació de fabricants. Dificultats a l'hora de calcular incorporades.

**12. Desviacions de la planificació:** Es manté idèntica a la de l'avantprojecte.

**13. Conclusions i tancament del projecte:** S'ha augmentat de 60 hores a 65 hores, degut que el resultat de l'eliminació de la tasca d'anàlisi de resultats ha produït que l'anàlisi es centri en aquest punt, en compte de dividir-ho en dos.

**14. Assemblatge i repàs de documentació:** Incorporació de nova tasca, de 0 hores a 15 hores. Tasca necessària per a garantir la bona qualitat de la memòria.

Amb la nova programació, es pot observar que malgrat els canvis realitzats deguts a les desviacions, el termini d'entrega de la fase de disseny no s'ha vist alterada.

Per tant, les conclusions temporals extretes de la programació Gantt, al projecte en fase de disseny, han estat que l'inici del projecte ha estat el dia 11 de Novembre i el seu termini ha

estat l'11 de Juny, amb una durada total de 7 mesos. On l'avantprojecte ha ocupat un total d'1 mes i 24 dies, i el projecte de detall s'ha realitzat durant un total de 4 mesos i 9 dies.

## **1.2. Desviacions econòmiques.**

Les desviacions econòmiques més importants han estat:

- Increment al cost de la fase de disseny de 4.792 €. Aquest increment ha estat degut al increment d'hores de treball de la tasca de desenvolupament de la solució. Aquest increment no ha modificat l'entrega del projecte.
- Decrement al cost de la fase de implementació de 7.232 €. Aquest decrement ha estat degut a la reducció de material referent a les cèl·lules termoelèctriques, ja que les necessitats han estat reduïdes.
- Les dues anteriors desviacions econòmiques han resultat com a un decrement del cost total del projecte de 2.440 € menys, per tant, el cost total del projecte és de 107.318 €.

## **1.3. Justificació de les desviacions.**

Les desviacions per canvi, han estat les d'anular la tasca 11 de l'avantprojecte i incorporació d'alguna tasca, com la d'assemblatge i repàs de la documentació del projecte, que s'ha considerat necessària i important afegir-la.

El motiu de la desviació per canvi, concretament la d'extreure el punt d'anàlisi de resultats, és que no s'ha considerat de suficient importància ja que els resultats del projecte d'implantació de les unitats DAQ no es poden analitzar fins un llarg termini.

Les desviacions per imprevistos han estat principalment relacionades amb l'augment del temps de la tasca 10, per problemes i volum de treball.

Els motius de la desviació per imprevist de la tasca de desenvolupament de la solució, han estat:

- Increment elevat de la feina que ha produït l'apartat, fet que no s'havia contemplat.
- Falta d'informació per part del fabricant, a part d'omissió de consultes.
- La falta d'informació de fabricant, ha fet que s'incrementi molt el temps de l'apartat de dimensionat de la solució.

El cost en mà d'obra per la fase de disseny s'ha incrementat en 4.792 € al preu final del pressupost degut a les desviacions exposades, tot i que la fita d'entrega de projecte no s'ha vist modificada.

El cost en el material s'ha vist modificat per la reducció de material TEG, justificat a l'apartat de dimensionat elèctric. La reducció afecta directament al cost de la fase d'implementació, disminuint-lo en 7.232 €. Aquestes desviacions resulten sobre el cost total del projecte disminuint-lo de 109.758 € a 107.318 €. La informació sobre les variacions de preus es poden trobar a l'estudi econòmic del projecte.

S'ha realitzat un anàlisi per torbar les causes dels desviaments. Les conclusions extretes són:

- Falta de revisió del document avantprojecte. A causa de la falta de revisió posterior, es van detectar alguns detalls a modificar, tant en el disseny del document com també en petits detall del propi contingut de l'avantprojecte.
- Falta de previsió en l'elaboració del document de la memòria. No es va fer una previsió sobre la planificació lo suficientment acurada. Això va provocar les desviacions justificades.

#### **1.4. Grau d'assoliment d'objectius del projecte.**

Finalment, la viabilitat del projecte s'ha demostrat a nivell empíric i teòric. El resultat de l'estudi realitzat ha estat assolir els 5 objectius definits a l'avantprojecte. S'especifica l'assoliment dels objectius seguidament:

- El primer objectiu s'ha assolit completament, ja que s'ha estudiat en profunditat i seleccionat els TEG comercials més òptims pel disseny proposat. El disseny s'adapta

a la geometria de les canonades del Tub Verd, fet que maximitza l'aprofitament d'energia tèrmica residual.

- El segon objectiu s'ha assolit completament, degut a que el disseny, els elements proposats i els càlculs, demostren que és viable mantenir una alimentació constant i suficient per alimentar tota la unitat DAQ. Els elements que s'han d'alimentar per aconseguir la solució viable, han estat triats amb l'objectiu de tenir el mínim consum possible. Per tant, cada unitat DAQ col·locada a les canonades del Tub Verd, és autosuficient i autònoma.
- El tercer objectiu no s'ha assolit en la seva totalitat, ja que a l'hora de cercar i dissenyar elements per extracció de dades, s'han trobat moltes dificultats per a trobar sensors d'altres paràmetres que no siguin la temperatura, que siguin de molt baix consum. Aquest fet a produït que només sigui viable la lectura d'una dada del circuit, la temperatura.
- El quart objectiu s'ha acomplert, degut a sistemes en continua expansió sobre el IoT, possibilitant així, la incorporació d'una comunicació *wireless* viable per al sistema. La selecció de protocol de comunicació, ha facilitat la topologia de distribució de sensors, en format malla, per tal de distribuir-los al llarg de tot el circuit del Tub Verd.
- El cinquè i últim objectiu, s'ha assolit parcialment, degut a que la informació captada del circuit ha estat acotada a causa de la manca de possibilitats de diferents sensors. El control òptim de possibles fugues al circuit, està suportat pel paràmetre de la temperatura superficial de la canonada, on s'observa la caiguda brusca de temperatura a causa d'una fuga gran, podent-la situar amb una disminució d'error en metres.

## **1.5. Punts forts i febles del projecte.**

### **1.5.1. Punts forts.**

L'estudi i el disseny realitzat, per la creació de les unitats d'adquisició de dades, acredita la possibilitat d'alimentar elèctricament dispositius de baix consum, per mitjà d'energia tèrmica residual. Aquesta fita s'ha assolit gràcies a que el mercat de cèl·lules

termoelèctriques esta avançant, i ha permès la incorporació dels TEG utilitzats al projecte per alimentar tots els elements de la unitat.

Les unitats dissenyades, permeten instal·lar-se mecànicament on es produeix el rebuig d'energia tèrmica, per així transformar-la en energia elèctrica, en molt poc espai físic. Les unitats permeten així, l'adquisició de la temperatura superficial de la canonada del Tub Verd per a identificar una avaria greu en el circuit tancat, degut a una pèrdua de temperatura superficial dràstica.

El projecte ha facilitat també, la viabilitat de comunicació remota sense cables mitjançant SigFox. La comunicació assolida permet la transmissió de dades al núvol, per després poder ser analitzades des del centre de tractament de dades del Tub Verd.

Finalment doncs, el resultat del disseny és una unitat que permet adquirir dades físiques del Tub Verd, concretament la temperatura superficial de la canonada, per transmetre-les mitjançant una comunicació sense cables, d'una manera autònoma i sense fils.

### **1.5.2. Punts febles.**

El muntatge d'un prototip del projecte hagués estat una millora considerable pel projecte. S'hagués pogut realitzar les mesures necessàries i fer variacions a la càrrega per mostrar el comportament de la part més important del projecte, la transformació d'energia tèrmica a energia elèctrica. Per tant, l'estudi i el disseny s'ha realitzat exclusivament de forma empírica per falta d'un prototip.

La falta d'informació concreta de fabricants dels elements que componen la unitat, ha suposat en alguns punts, realitzar aproximacions de casos més desfavorables. Aquest fet ha suposat que el comportament obtingut tingui desviacions en cas de realitzar el muntatge d'un prototip.

No s'ha profunditzat a la part de comunicació i trama de protocol SigFox, degut a que l'abast del projecte ho indicava d'aquesta manera, però per a realitzar una completa viabilitat de que el sistema de comunicació de la unitat funcioni amb total transparència, s'hauria d'haver profunditzat en la comunicació sense fils.

## 1.6. Possibles millores i futures línies de treball.

El projecte realitzat té una millora i línia futura directa i és la construcció d'un prototip, com ja s'ha comentat, per a realitzar tots els assajos el màxim reals possibles, per a veure el comportament del disseny de la unitat d'adquisició de dades del Tub Verd. D'aquesta manera es podrà sotmetre el prototip a diferents condicions de gradients de temperatura i aplicar diferents càrregues als TEG, per a observar i estudiar el comportament en condicions de contorn molt similars a les del circuit tancat del Tub Verd.

Una possible millora del projecte, seria realitzar dos possibles modificacions i consideracions a l'hora de dissenyar la unitat DAQ. La primera, és considerar realitzar les modificacions pertinents per assegurar que la càrrega que alimenta els TEG, sigui igual o molt similar a la resistència interna que ofereixen els propis TEG, ja que així, s'obtidria la màxima potència que pot proporcionar l'etapa de generació de la unitat, seguint la llei de la màxima potència de transferència. La segona, és considerar una modificació de disseny, ja que apart del circuit d'aigua calenta del Tub Verd, també es proporciona aigua freda per refrigeració, per un altra circuit pròxim al calent. La millora seria modificar el disseny perquè l'escalfor dissipada del circuit d'aigua calenta escalfi la cara calenta del TEG, i el circuit fred refrigeri la cara freda del TEG, provocant així un increment considerable al gradient de temperatura entre cares del TEG, fet que milloraria molt l'eficiència de la generació d'energia de la unitat.

El futur de les cèl·lules termoelèctriques esta encaminat cap a la millora de la seva figura de mèrit, ja que va relacionada amb el seu rendiment. Els TEG actuals, tenen una figura de mèrit baixa, ja que és una conseqüència dels materials que empren en construir-los. El material habitual per a TEG que treballen a baixa temperatura és el Bismut-Tel·lur. S'està investigant amb nous materials, com els *skutterudites* que milloren molt la figura de mèrit de les cèl·lules, i per tant el seu rendiment. Aquest nous materials, provocarien que els TEG generéssim molta més energia, i per tant, s'obriria mercat d'EH a l'usuari i contribuiria a aportar una manera més d'aprofitament d'energia responsable i sostenible.

Per finalitzar, una millora proposada en el camp de la comunicació *wireless* és el possible canvi de SigFox a LoRaWAN, ja que són dos protocols molt semblants a nivell de prestacions, però SigFox està privatitzat i LoRaWAN no, ja que és *open source*. El motiu

pel qual no s'ha utilitzat LoRaWAN és únicament perquè encara no està estès a territori de Mataró, que és on s'ha realitzat el projecte, tot i que en un futur pròxim, sí que hi haurà cobertura LoRaWAN.



## 2. Annex 2: Informació de tasques del projecte.

Es detalla les tasques del projecte, tant de la fase de disseny, com de la fase d'implementació, a la Taula 2.1. i a la Taula 2.2, respectivament.

Nom de la tasca	Duració	Inici	Fi	Prelacions	Recursos
<b>AVANTPROJECTE</b>	<b>31,13 dies</b>	<b>diss 11/11/17</b>	<b>dij 11/01/18</b>		
<b>1-Identificació estudi</b>	<b>12,38 dies</b>	<b>diss 11/11/17</b>	<b>dium 03/12/17</b>		
1.1-Objecte	10 hores	diss 11/11/17	dium 12/11/17		PM
1.2-Anteced. I nec. D'info.	80 hores	dill 13/11/17	div 01/12/17	1.1	PM
1.3-Abast	3 hores	diss 02/12/17	diss 02/12/17	1.2	PM
1.4-Objectius i esp. Tec.	6 hores	diss 02/12/17	dium 03/12/17	1.3	PM
<b>2-Selecció d'alt. Més adeq.</b>	<b>2,38 dies</b>	<b>diu 03/12/17</b>	<b>div 08/12/17</b>		
2.1-Generació pos. Altern.	5 hores	diu 03/12/17	dill 04/12/17	1.4	PM
2.2-Selecció de l'alternativa	14 hores	dima 05/12/17	div 08/12/17	2.1	PM [50%]
<b>3-Anàlisi de la viabilitat</b>	<b>7,38 dies</b>	<b>div 08/12/17</b>	<b>div 22/12/17</b>		
3.1-Viabilitat tècnica	24 hores	div 08/12/17	dime 13/12/17	2.2	PM [25%]
3.2-Viabilitat econòmica	35 hores	dij 14/12/17	div 22/12/17	3.1	PM [50%]
3.3-Viabilitat mediambiental	8 hores	div 08/12/17	dium 10/12/17	2.2	PM [25%]
<b>4-Planificació del projecte</b>	<b>1,88 dies</b>	<b>dij 14/12/17</b>	<b>dium 17/12/17</b>		
4.1-Definició de tasques	3 hores	dij 14/12/17	dij 14/12/17	3.1	PM [25%]
4.2-Gantt amb MS Project	15 hores	dij 14/12/17	dium 17/12/17	4.1	PM [25%]
5-Desenv. de la solució	20 hores	div 22/12/17	dima 26/12/17	3.2	PM
6-Pressupost	24 hores	dima 26/12/17	dij 04/01/18	5	PM
7-Entrega avantprojecte	0 dies	dij 11/01/18	dij 11/01/18	6	PM
<b>PROJECTE DE DETALL</b>	<b>69,13 dies</b>	<b>div 02/02/18</b>	<b>dill 11/06/18</b>		
8-Intro. al projecte de detall	10 hores	div 02/02/18	dium 04/02/18	7+12 dies	PM
9-Reestructuració d'info.	30 hores	dium 04/02/18	dium 11/02/18	8	PM
10-Marc conceptual	25 hores	diu 11/02/18	diss 17/02/18	9	PM
<b>11-Desenv. de la solució</b>	<b>45,63 dies</b>	<b>diss 17/02/18</b>	<b>dium 13/05/18</b>		
11.1-Metodologia	35 hores	diss 17/02/18	dium 25/02/18	10	PM
11.2- Descripció d'elements	80 hores	dium 25/02/18	div 16/03/18	11.1	PM
11.3-Dimensionat	180 hores	div 16/03/18	div 27/04/18	11.2	PM
11.4-Distribució	25 hores	div 27/04/18	dij 03/05/18	11.3	PM
11.5-Detall de funcionament	45 hores	dij 03/05/18	dium 13/05/18	11.4	PM
12-Desv. De planificació	35 hores	dium 13/05/18	dill 21/05/18	11.5	PM
13-Conclusions i tancament	65 hores	dill 21/05/18	dima 05/06/18	12	PM
14-Assemblatge i repàs	15 hores	dim 06/06/18	diss 09/06/18	13	PM
<b>Entrega de projecte detall</b>	<b>0 dies</b>	<b>Dill 11/06/18</b>	<b>dill 11/06/18</b>	<b>14</b>	<b>PM</b>

Taula 2.1 - Tasques del projecte, fase de disseny

Nom de la tasca	Duració	Inici	Fi	Prelacions	Recursos
1-Compra de materials	7 dies	dill 04/02/19	dima 12/02/19		PMI [25%]
<b>2-Muntatge</b>	<b>30 dies</b>	<b>dime 13/02/19</b>	<b>dima 26/03/19</b>		
2.1-Connexió	5 dies	dime 13/02/19	dimar 19/02/19	1	PIT
2.2-Programació	15 dies	dime 20/02/19	dimar 12/03/19	2.1	PIT
2.3-Proves i verificació	10 dies	dime 13/03/19	dimar 26/03/19	2.2	PIT
3-Identificació zona urbana	20 dies	dime 13/02/19	dimar 12/03/19	1	PMI [25%]
<b>4-Obra a zona urbana</b>	<b>45 dies</b>	<b>dime 13/03/19</b>	<b>dime 15/05/19</b>		
4.1-Excavació	22 dies	dime 13/03/19	dij 11/04/19	3	MAQ
4.2-Muntatge	18 dies	div 12/04/19	dime 08/05/19	4.1	O1;O2;PMI [25%]
4.3-Proves i verificació	5 dies	dij 09/05/19	dime 15/05/19	4.2	PIT;O1
5-Proves i validació	7 dies	dij 16/05/19	div 24/05/19	4.3	PIT;PMI

Taula 2.2 - Tasques del projecte, fase d'implementació.



