



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: DISSENY D'UN SISTEMA DE RECÀRREGA DINÀMICA DE VEHICLES ELÈCTRICS MITJANÇANT WITRICITAT EN CAMPS DE RESSONÀNCIA MAGNÈTICA

Document: 1. Memòria i Annexos

Alumne: Albert Massaguer Colomer

Director/Tutor: Joaquim Melendez Frigola

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria Elèctrica

Convocatòria: febrer 2013

INDEX MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ.....	6
1.1. Antecedents	6
1.2. Objecte	7
1.3. Especificacions i abast	8
1.4. Estudi d'alternatives	9
1.4.1 Transmissió per radiació de radiofreqüència.....	9
1.4.2 Làser.....	10
1.4.3 Inducció magnètica o inducció de camp proper	10
1.4.4 Radiació directa	11
1.5. Reglamentació	12
2. PRINCIPIS DE LA WITRICITAT	14
2.1. Introducció.....	14
2.2. Evolució de la electricitat sense cables	15
2.3. Principi de funcionament	17
2.4. Característiques i beneficis	23
2.4.1 Eficiència	23
2.4.2 Resposta als obstacles.....	24
2.4.3 Seguretat	24
2.4.4 Escalabilitat del disseny.....	25
2.4.5 Flexibilitat en el disseny.....	26
2.4.6 Tecnologia existent al mercat.....	26
2.5. Altres aplicacions	28
3. DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ	31
3.1. Circuit bàsic de funcionament	31
3.1.1 Font ressonadora.....	32
3.1.2 Mòdul receptor	33
3.1.3 Amplificador RF	33
3.1.4 Rectificador.....	33
3.1.5 Battery Management System	33
3.2. Dimensionat de la instal·lació.....	34
3.2.1 Distribució mòduls emissors	34
3.2.2 Etapa inicial del sistema de recàrrega.....	38
3.2.3 Subjecció mòduls emissors	39
3.2.4 Instal·lació elèctrica receptora	39
3.2.5 Subjecció dels mòduls receptors	40

3.2.6	Resistència a compressió del mòdul emissor.....	40
3.2.7	Resistència a tracció del mòdul emissor	41
3.2.8	Optimització del disseny	41
3.3.	Dimensionat del carril de recàrrega	43
3.4.	Seguretat.....	45
4.	CONSTRUCCIÓ I DIMENSIONAT ELÈCTRIC	47
4.1.	Conductors	48
4.2.	Rases	50
4.3.	Arquetes	51
4.4.	Enllaços i derivacions	51
4.5.	Línia distribuïdora	52
4.6.	Derivació general	52
4.7.	Derivació individual	53
4.8.	Línia subestació	53
4.9.	Elements de protecció	54
4.10.	Comptador	55
4.11.	Caixa general de protecció	55
4.12.	Posada a terra	55
4.13.	Unitat de control.....	57
5.	EXPLOTACIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ	59
5.1.	Facturació pel servei	59
5.2.	Control dels vehicles admesos al sistema	60
5.3.	Seguiment de l'avanç del vehicle	60
5.4.	Trànsit de vehicles	61
6.	MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ.....	62
6.1.	Inspecció visual	62
6.2.	Control connexions elèctriques i cablejat	63
6.3.	Comprovació del tancament de la caixa de terminals.....	63
7.	ESTUDI ECONÒMIC	64
7.1.	Cost realització del projecte	64
7.2.	Cost manteniment del projecte.....	64
7.3.	Beneficis.....	64
8.	ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT	67
8.1.	Objecte de l'Estudi	67
8.2.	Justificació de l'estudi de seguretat i salut	67
9.	IMPACTE MEDIAMBIENTAL.....	69
10.	RESUM DEL PRESSUPOST	70

11. CONCLUSIONS I FUTURES MILLORES	71
12. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	73
13. BIBLIOGRAFIA.....	74

INDEX ANNEXOS

Annex A – Vehicle elèctric

Annex B – Càlculs elèctrics

Annex C – Estudi de Seguretat i Salut

Annex D – Treball experimental

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

L'actual model de transport, basat en el motor de combustió, es troba en l'inici d'un profund i substancial canvi.

Durant el segle XX, el petroli ha proporcionat a la població mundial una font d'energia abundant i barata, que va permetre una revolució energètica i tecnològica i, en darrer terme, un creixement econòmic espectacular. Les bondats del petroli han portat a construir uns sistemes de producció, transport i comerç altament dependents d'aquest recurs energètic.

Tanmateix, les reserves són limitades i la demanda creixent, fet que ens porta a que actualment s'estigui assolint el peakoil, el moment a partir del qual, malgrat es realitzin noves prospeccions i extraccions, no serà possible introduir suficient cru al mercat per abastir-lo. Cal afegir que els principals jaciments de petroli es troben a l'Orient Mitjà – cinc dels nou països amb més reserves es troben entre aquests- que és una regió inestable que amenaça les possibilitats de garantir el cobriment de la demanda i la contenció dels preus.

En definitiva, la tercera crisi del petroli està arribant, i es diu que serà la definitiva, ja que marcarà la inviabilitat futura del present model de creixement exponencial, que haurà estat un fenomen transitori de la història de la Humanitat (Fernández Durán, 2008). Tal i com afirma Jeque Yamani, qui ha estat representant d'Aràbia Saudí durant molts anys en la OPEP, "L'edat de Pedra no va acabar per falta de pedres, i l'Edat del Petroli acabarà bastant abans que s'esgoti el petroli".

Per aquests motius, es planteja la transició energètica: adoptar noves estructures de producció i transports més sostenibles. Un model que eviti la necessitat de fer front a uns costos inassolibles derivats de diversos elements entre els quals es troben el canvi climàtic, el deute energètic dels Estats i les complexes tecnologies que es requereixen per continuar extraient el petroli. A més a més, l'actual model genera servers conflictes polítics que provoquen tensions en el mercat mundial (p. ex. Les guerres contra l'Irak i el Líban) que poden anar en augment.

Una de les noves estructures de transports més sostenibles i que més impuls han pres aquests últims anys és el vehicle elèctric. Les seves qualitats resulten idònies per

superar la dependència del petroli i per donar empenta a la mobilitat sostenible basada en energies renovables. Tot i això, el desenvolupament actual de les prestacions del mateix implica considerables esculls per a l'inici de la renovació del parc automobilístic. Les bateries, l'autonomia i els costos d'adquisició generen, en el sector privat, desconfiança envers la seva viabilitat immediata.

1.2. Objecte

Amb aquest projecte es pretén dissenyar un sistema de recàrrega de les bateries dels vehicles elèctrics mentre aquests funcionen, i d'aquesta forma disminuir la dependència d'aquests al nivell de càrrega de la bateria, conferir-los més autonomia i transformar el temps de recàrrega del vehicle en temps útil de conducció.

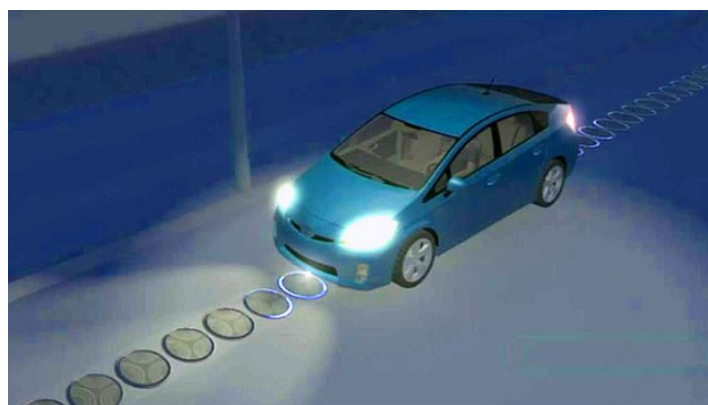


Figura 1. Vehicle recarregant la bateria mentre es desplaça

L'objectiu és substituir les gasolineres actuals pel que s'han anomenat recentment electrolineres (European Commission, 2010), i crear una xarxa de sistemes de recàrrega per witricitat (Soljačić et al., 2008), per mitjà dels quals, subministrar suficient energia elèctrica per arribar, com a mínim, a la següent estació de recàrrega. En aquest projecte només es tindrà en compte la instal·lació d'aquest sistema de recàrrega en una autopista, ja que és la via per on transiten més vehicles i per tant on hi haurà un menor temps de retorn de la inversió.

Per dur a terme aquesta millora, s'utilitzaran un seguit de mòduls emissors fixats al paviment de la calçada i un receptor fixat a la part inferior dels vehicles, els quals, a partir del fenomen de la witricitat, seran capaços de transmetre energia elèctrica al vehicle, sense cap tipus de connexió, i recarregar-ne la bateria.

El projecte té com a finalitat garantir la seguretat de les persones i els objectes en la seva execució, tot buscant la optimització dels recursos i atenent a consideracions tècniques, econòmiques i estètiques. És de gran rellevància en el projecte la recerca de la màxima integració de les instal·lacions en l'emplaçament escollit, de manera que la seva possible afectació sigui mínima.

És important remarcar que en aquest projecte es parteix de la base que aquest tipus de tecnologia ja es fabrica i se'n tenen dades tècniques, i que, per tant, no es farà un dimensionat intern dels mòduls emissors.

1.3. Especificacions i abast

El sistema estarà format per un grup de bobines fixades al paviment i connectades en paral·lel al llarg de la calçada de la via per on el vehicle elèctric circularà, el qual també incorporarà, en la part inferior, una bobina en ressonància magnètica amb les anteriorment anomenades. Les bobines immòbils, que estaran connectades a la xarxa elèctrica, induiran en la bobina fixada al vehicle un corrent elèctric a partir dels circuits ressonants als quals estan connectades. S'estudiarà la configuració més òptima d'aquest sistema per tal de subministrar la potència necessària per carregar la bateria, tenint en compte la despesa energètica extra derivada del fet de realitzar-ho en moviment.

Es farà el dimensionat de la instal·lació elèctrica necessària per al seu funcionament i es determinarà el seu cost i el temps d'amortització. La quantitat de vehicles que usin aquest sistema de recàrrega i el cost de l'energia elèctrica determinaran la remuneració econòmica que es percebrà al final de període.

En tot moment, propostes com la velocitat del vehicle i la longitud del tram de recàrrega seran valors necessàriament viables físicament i econòmicament.

Per verificar-ne el comportament es realitzarà un treball experimental on es construirà un circuit electrònic compost de dos emissors i un receptor. En aquest muntatge es prendran els valors de tensió en cada punt d'aquest desplaçament.

Finalment es verificarà la viabilitat del projecte i les futures modificacions que s'hi puguin fer.

1.4. Estudi d'alternatives

Pel que fa al tipus de tecnologia escollida per afrontar el problema, s'ha optat per la que més bé complia amb les especificacions del projecte:

- Capacitat de transmetre energia elèctrica sense l'ús de cables
- Capacitat de transmetre energia elèctrica a distàncies de l'ordre de desenes de centímetres
- Capacitat de transmetre potència de l'ordre de kW
- Rendiment de transferència acceptable
- Segur

Les tecnologies que eren susceptibles de complir amb aquestes condicions i que s'han estudiat en aquest projecte són:

- Inducció magnètica
- Transmissió per radiació de radiofreqüència
- Radiació directa
- Làser

1.4.1 Transmissió per radiació de radiofreqüència

L'ús d'ones de ràdio per transmetre l'energia elèctrica es potser la solució més obvia, ja que es poden utilitzar, en principi, els mateixos tipus de transmissors i receptors utilitzats en la comunicació Wi-Fi. Powercast, una empresa amb seu a Pittsburgh, Pennsylvania, ha utilitzat recentment aquesta tecnologia per transmetre microwatts i miliwatts de potència a almenys 15 metres de distància de sensors industrials.

Malgrat això, la potència transmesa és massa petita per poder ser considerada en aquest estudi, ja que per alimentar la bateria d'un vehicle elèctric els rangs de potència transmesa que hauríem de tenir haurien de ser de l'ordre de kW. El fet que el mode de radiació sigui omnidireccional tampoc la fa una tecnologia adequada pel projecte ja que la gran majoria de l'energia és llençada en l'espai lliure, i per tant el rendiment és baix. També s'han de tenir en compte les interferències que podrien aparèixer degudes a altres aparells.

1.4.2 Làser

Una segona opció, per a dispositius que requereixin més energia com és el nostre cas, seria enviar un feix de raig làser infraroig centrat en una cèl·lula fotovoltaica, que convertís el feix un altre cop a energia elèctrica. Aquest és l'enfocament que ha adoptat Powerbeam, una altra empresa americana, però fins ara la seva eficiència és només del 15 al 30 per cent. A més, per a aquesta tècnica, en relació als dispositius verdaderament portàtils que es mouen constantment, un raig infraroig no seria convenient per carregar la bateria d'un cotxe en moviment ja que ha de ser direccional.

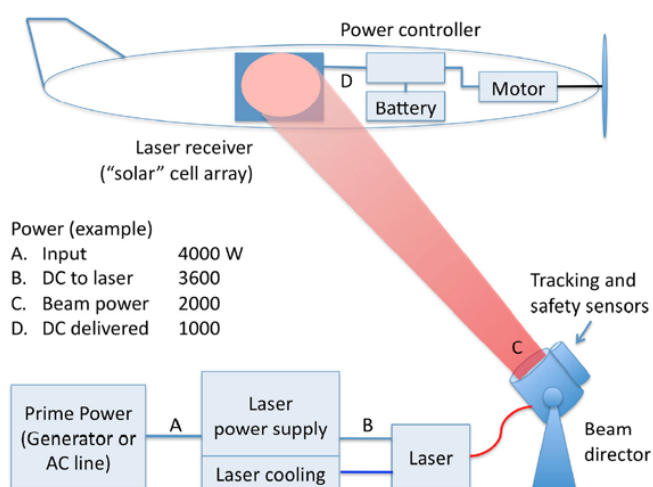


Figura 2. Projecte d'aplicació usant transmissió làser.

1.4.3 Inducció magnètica o inducció de camp proper

Una tercera possibilitat per a l'energia sense cables és la inducció magnètica, la opció més atractiva per a aplicacions quotidianes. Un camp magnètic fluctuant que emana d'una bobina pot induir un corrent elèctric a prop d'una altra bobina receptora. El problema és que la eficiència d'aquest sistema és bona únicament en el cas que aquestes dues bobines estiguin molt a prop, de l'ordre de mil·límetres, i per tant, per a distàncies de 20 o 30 centímetres que són les que ens trobem en el nostre cas, no serien viables.

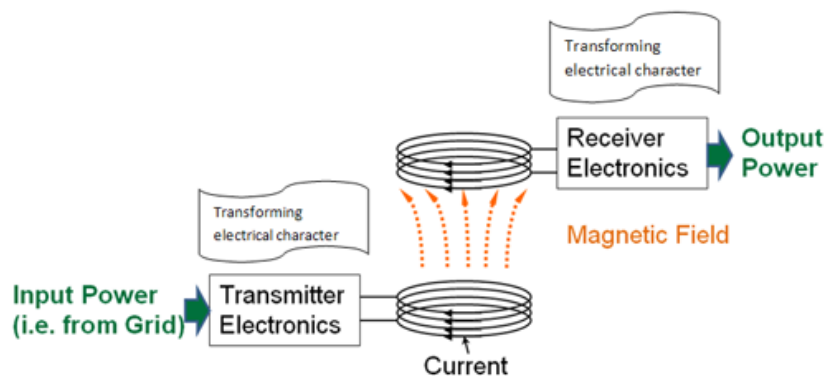


Figura 3. Transferència d'energia elèctrica mitjançant inducció magnètica.

1.4.4 Radiació directa

Per últim, també se sap que la radiació de microones és capaç de transmetre energia d'una font a un receptor. Les microones són ones electromagnètiques de la mateixa naturalesa que les ones de radio. El que les fa diferents és la seva longitud d'ona. Les microones són senyals d'altra freqüència i es generen per mitjà d'un generador de polsos elèctrics de curta duració, que en combinació amb una antena parabòlica es transformen en ones electromagnètiques.

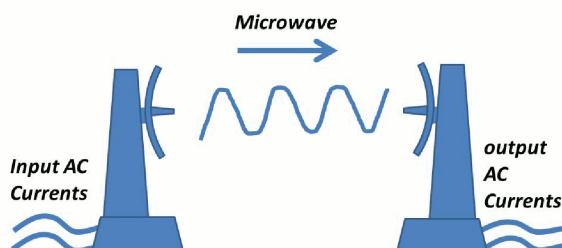


Figura 4. Transferència d'energia elèctrica mitjançant microones.

Malgrat això, aquesta opció és descartada ràpidament pel fet que és una tecnologia molt poc segura per a les persones i perquè reacciona amb alguns tipus de metalls.

En resum, la tecnologia escollida per tal d'afrontar aquest projecte és la witricitat pel fet que compleix amb totes les especificacions requerides pel projecte.

	Transmissió d'energia sense fils	Longituds de transmissió de l'ordre de centímetres	Transmissió de potències de l'ordre de kW	Rendiment acceptable	Segur
Radiofreqüència	✓	✓	X	X	✓
Infraroigs	✓	✓	X	X	✓
Inducció magnètica	✓	X	✓	✓	✓
Microones	✓	✓	✓	✓	X
Witricitat	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 1. Resum de les principals característiques de cada sistema

1.5. Reglamentació

Per a la redacció del present projecte s'ha tingut en compte la següent Reglamentació i Normativa vigent d'obligat compliment:

- REGLAMENT TÈCNIC DE LÍNIES ELÈCTRIQUES AÈRIES D'ALTA TENSIÓ (RT-LEAT) (Decret 2151/1968 de 28.11.68, BOE núm. 311 de 27.12.68 i rectificacions en BOE 8.3.69)
- INSTRUCCIONS TÈCNIQUES COMPLEMENTARIES DEL RAT (ITC MIE-RAT), establertes per OM de 06.07.84, BOE núm. 183 de 01.08.84, i OM de 18.10.84, BOE núm. 256 de 25.10.84
- REGLAMENT ELECTROTÈCNIC DE BAIXA TENSIÓ. Decret 842/2002 de 2 d'agost pel que s'aprova el Reglament electrotècnic de Baixa Tensió.
- REAL DECRET (RD) 1955/2000, de 1 de desembre, que regula les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'instal·lacions d'energia elèctrica (BOE 310 de 27.12.00)
- Ordre de 12 de febrer de 2001, de la Conselleria d'Indústria i Comerç
- Llei de prevenció de riscos laborals (LPRL), (Llei 31/1995, de 8 de novembre de 1995, BOE 10.11.1995)
- RD 614/2001, 8 de juny, "Sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat en el treball enfront el risc elèctric"

- Ordenança general de seguretat i higiene en el treball (OGSHT), (Ordre del 09.03.71, BOE del 16 i 17.03.71)

Així com totes les Normes i Reglamentacions vigents no especificades, que puguin ser d'obligat compliment segons la Generalitat de Catalunya.

2. PRINCIPIS DE LA WITRICITAT

2.1. Introducció

Al llarg de la història, l'home ha procurat garantir i millorar el seu nivell de vida mitjançant l'ús de la tecnologia. Actualment, les formes de transmissió sense cables pretenen ser comú denominador de les grans innovacions del nou mil·lenni, és per això que s'han desenvolupat transmissors i receptors sense cables per a tota classe de dispositius, utilitzant tecnologies tals com Bluetooth o Wi-Fi per a la transmissió de dades.

Científics i enginyers han sabut des de fa quasi dos segles que el trasllat d'energia elèctrica no requereix cables. Motors i transformadors elèctrics contenen bobines que transmeten l'energia entre sí pel fenomen de la inducció electromagnètica; malgrat això, aquest sistema requereix, o bé corrents altíssimes, o bé distàncies molt curtes entre la font i el receptor.

A pesar d'aquest fet, un grup de físics de l'equip del MIT (Massachusetts Institute of Technology) dirigits pel professor Marin Soljačić, va aconseguir la base teòrica per a la transferència d'energia elèctrica sense cables el 2005, passant a la fase experimental el 2007. Aquests inventors van anomenar "WiTricity" a aquesta tecnologia.

La witricitat (de l'anglès witrlicity, wireless electricity) descriu l'habilitat de proporcionar energia elèctrica a objectes remots sense l'ús de cablejat emprant circuits ressonadors acoblats, els quals posseeixen la mateixa freqüència de ressonància, fet que els permet intercanviar energia eficientment.

Un sistema de transferència d'electricitat sense fils està format per un emissor de witricitat anomenat transmissor i d'un altre aparell anomenat receptor. Aquest últim, treballa amb el mateix principi que els receptors de radio, on l'aparell ha d'estar sintonitzat en la mateixa freqüència que el transmissor. És amb l'ajuda de camps de ressonància magnètica que la witricitat és capaç de transmetre energia elèctrica. Com més acoblats estiguin entre sí l'emissor i el receptor, més eficient és la transferència. El rendiment d'aquest sistema depèn de la distància entre el transmissor i el receptor, i actualment se situa al 97%.

Malgrat aquesta tecnologia sigui recent, moltes investigacions i productes han vist la llum aquests darrers anys. Aplicacions en la indústria, la medicina, les llars o el transport són les més esteses.

2.2. Evolució de la electricitat sense cables

Que l'energia elèctrica sigui transferida sense l'ajuda de cables no és un descobriment nou. Ja ho sabia a principis del segle XIX Michael Faraday, quan va descobrir que a la naturalesa li agraden les simetries, i que el camp magnètic que es genera quan els electrons passen per un cable és reversible. És a dir, aprofitant aquesta simetria, és possible crear un corrent induït en una bobina quan en aquesta li apliquem un camp magnètic variable. Aquest fenomen va ser anomenat inducció electromagnètica i permet transportar energia elèctrica sense cables, encara que no va ser mai vist com a tal fins uns anys més tard. Instigat, potser, pel fet que aquest fenomen, que és en el que es basen els transformadors elèctrics i que va ser demostrat l'any 1831, requereix que les dues bobines que el formen estiguin situades de forma molt propera entre elles, de l'ordre de mil·límetres. És per això, que aplicacions on es requereix que la distància sigui d'un ordre de magnitud més gran és totalment inviable.

Potser és el que va motivar un segle després, a la dècada del 1920, Nikola Tesla, quan va crear la bobina Tesla (Tesla, 1914). En aquest experiment, el científic, va ser capaç de transmetre una gran quantitat d'energia elèctrica a través d'una distància d'uns quants centímetres mitjançant un arc voltaic a alts voltatges. Anys més tard Tesla construiria la torre Wardyncliff amb l'intent de trobar una manera de transmetre electricitat a llargues distàncies. Aquest fenomen però, va quedar en un segon pla quan futures experimentacions no van donar fruit i el cable va emergir amb força en la indústria.

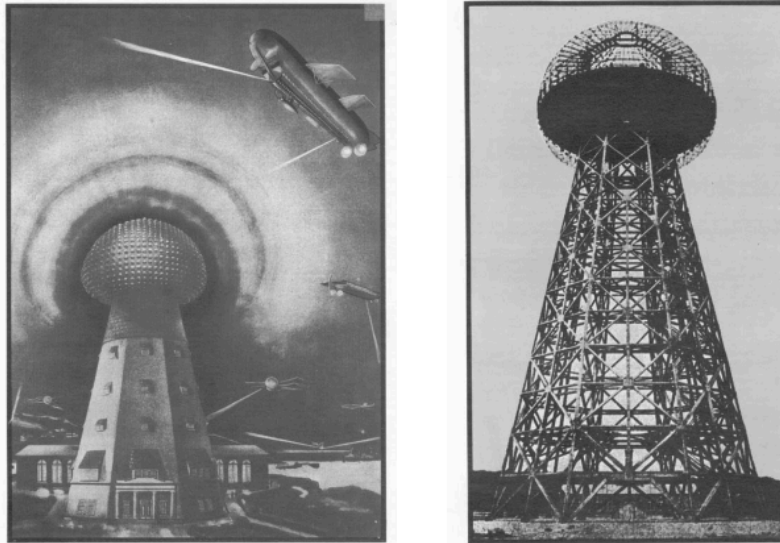


Figura 5. Esquerra: Concepte de la Torre Wardyncliff. Dreta: La torre a prop de la seva finalització el 1904.

Ha sigut pràcticament 100 anys després de Wardyncliff, l'any 2007, quan Marin Soljačić i els seus col·legues han desenvolupat una tecnologia completament nova que parteix de la idea vell concepte de Tesla i del principi de funcionament de la inducció magnètica. Aquest equip d'investigadors va portar a terme un experiment en (Soljačić et al., 2007b) el qual van encendre una bombeta de 60W des d'una font col·locada a 2 metres de distància, sense absolutament cap contacte físic entre el receptor i la font d'alimentació tal i com es pot veure en la Figura 6.

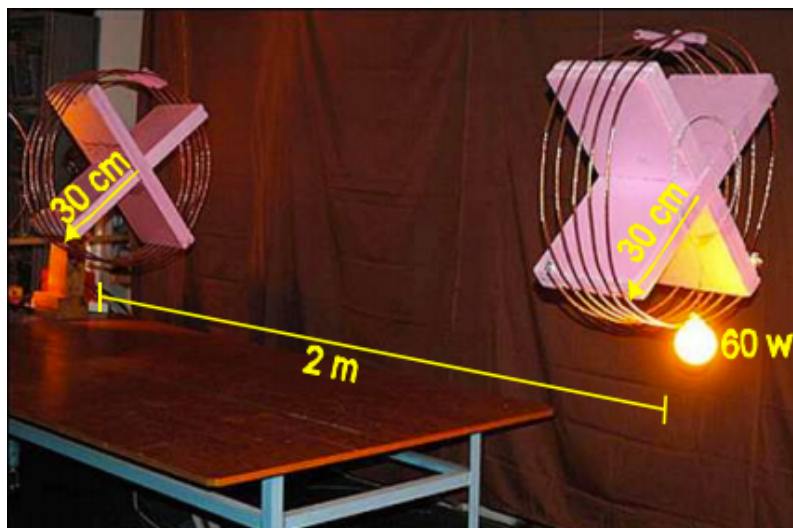


Figura 6. Experiment WiTricity.

Aquest descobriment, que és, a grans trets, una versió més refinada de la inducció magnètica, suposa un canvi cabdal en la manera com fins ara s'ha transmès l'energia elèctrica.

2.3. Principi de funcionament

Una bobina de material conductor, transportant un corrent altern, és una estructura molt eficient alhora de generar o capturar un camp magnètic.

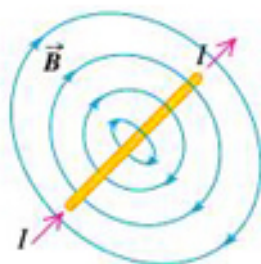


Figura 7. Corrent elèctric I fluint en un cable i creant un camp magnètic B al seu voltant.

Si una bobina és connectada a una font de corrent altern, generarà un camp magnètic oscil·lant en les seves proximitats. Una segona bobina conductora, col·locada a prop de la primera, pot capturar una porció d'aquest camp magnètic oscil·lant, el qual, al seu torn, generarà o induirà un corrent elèctric en la segona bobina. El corrent generat en la segona bobina pot ser utilitzat per alimentar aparells elèctrics. Aquest tipus de transferència de potència elèctrica és ben coneguda i s'anomena inducció magnètica. Exemples d'aparells que empen aquest tipus de transferència d'energia són els transformadors elèctrics o els generadors elèctrics.

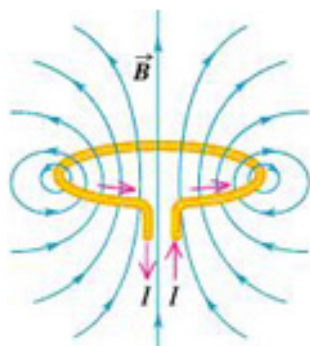


Figura 8. Camp magnètic creat quan un corrent recorre una espira.

A partir d'aquest principi, el transport de l'energia elèctrica té lloc quan es produeix un camp magnètic entre dues bobines de material conductor, una d'elles connectada a una font de corrent alterna (emissor) i l'altra a l'element al qual volem subministrar energia (receptor). Malgrat això, la transferència només és possible per a distàncies curtes, de l'ordre de mil·límetres, entre les dues bobines.

Per aconseguir transmetre energia elèctrica a distàncies més grans, de l'ordre de centímetres o fins hi tot metres, és necessari que les dues bobines estiguin sintonitzades en una mateixa freqüència de ressonància. D'aquesta manera, són capaces d'intercanviar energia entre elles sense afectar altres dispositius o objectes propers.

2.3.1. Acoblament energètic o de potència

L'acoblament energètic succeeix quan una font energètica té la intenció de transferir energia a un altre objecte. Més concretament, succeeix quan el camp magnètic d'un objecte interacciona amb un segon objecte i indueix un corrent elèctric en aquest.

El principi de funcionament és el mateix que el d'un transformador, on la bobina del circuit primari es crea un camp magnètic variable com a conseqüència el corrent altern al que està alimentat, el qual indueix un corrent en el circuit secundari. Entre el circuit primari i el secundari no hi ha cap connexió i l'energia es transmet a través del flux magnètic que es crea dins del nucli. Malgrat això, la distància entre els dos circuits és molt petita.

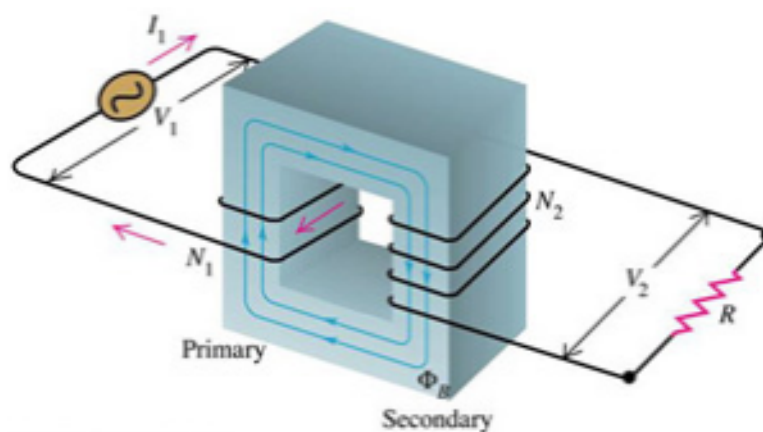


Figura 9. Acoblament magnètic entre l'emissor d'energia i el receptor.

Per aconseguir distàncies més grans entre el circuit primari i secundari és necessari que aquests dos estiguin connectats d'una altra forma. Aquí és quan pren importància el concepte d'acoblament energètic.

A grans trets, quan es sintonitza un aparell de ràdio per escoltar una determinada emissora, el que s'està fent realment és acoblar energèticament l'aparell receptor amb l'emissor, en aquest cas una antena d'ones de ràdio propera, regulant un circuit ressonant LC intern per sintonitzar una determinada freqüència.

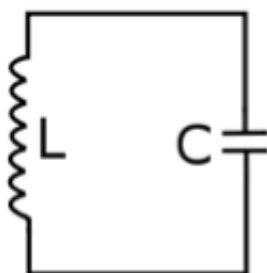


Figura 10. Esquema bàsic d'un circuit ressonant, amb una bobina i un condensador.

L'emissor i el receptor de vitricitat treballen sota el mateix principi, el receptor està dimensionat de tal forma que la freqüència de ressonància és la mateixa que la de l'emissor, estan sintonitzats. D'aquesta forma s'indueix en el receptor un corrent elèctric a partir del camp elèctric variant de l'emissor com a conseqüència de la llei d'inducció magnètica de Faraday, i l'energia és capaç de fluir entre ells dos malgrat la distància.

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

2.3.2. Fonament matemàtic

Partint de les investigacions fetes pels investigadors del MIT i pel Center for Automotive Research de la Universitat d'Stanford, el mecanisme pel qual la transferència d'energia sense cables és descrita és a partir de la teoria del mode d'acoblament (Shanhui Fan et al., 2011) (Soljačić et al., 2008) (H. Haus, 1984).

Per a un sistema que consisteixi en un emissor (s, source) i un receptor ressonant (r, receiver), tenim les següents equacions:

$$\dot{a}_s(t) = (i\omega_s - \gamma_s)a_s(t) + i\kappa a_r(t) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\dot{a}_r(t) = (i\omega_r - \gamma_r - \gamma_w)a_r(t) + i\kappa a_s(t) \quad (\text{Eq. 3})$$

On $a_{s,r}$ correspon a l'energia emmagatzemada en el ressonador, $\omega_{s,r}$ és la freqüència de ressonància, γ_s és el factor de pèrdues, γ_w és el rati de treball extret degut a una càrrega de sortida que està acoblada al ressonador de recepció i κ és el coeficient d'acoblament.

En la pràctica, quan s'usa un sistema de transferència com aquest, típicament s'usa en una ona contínua, on l'emissor s'acobla a una font contínua (Soljačić et al., 2007) (H. cheng et al., 2008) (M. Chiao et al., 2011). Es pot assumir que la ona contínua oscil·la a una freqüència ω_s en la qual l'acoblament entre l'emissor i el receptor és màxima. Com a resultat d'això, la fracció de pèrdues total a la càrrega de sortida és:

$$f = \frac{\gamma_w |a_s|^2}{\gamma_s |a_s|^2 + (\gamma_r + \gamma_w) |a_s|^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Aquesta fracció f depèn de la càrrega a través de γ_w i és maximitzada quan:

$$\frac{\gamma_w^{max}}{\gamma_r} = \sqrt{1 + \frac{\kappa^2}{\gamma_s \gamma_r} + \left(\frac{\omega_s - \omega_d}{\gamma_r}\right)^2}.$$

Després, es defineix l'eficiència de la transmissió com:

$$\eta = f(\gamma_w^{max}) = \frac{\frac{\kappa^2}{\gamma_s \gamma_r}}{2 + \frac{\kappa^2}{\gamma_s \gamma_r} + 2 \sqrt{1 + \frac{\kappa^2}{\gamma_s \gamma_r} + \left(\frac{\omega_s - \omega_d}{\gamma_r}\right)^2}} \quad (\text{Eq. 5})$$

A partir d'aquestes equacions i simulant els circuits ressonants en les diferents posicions que es presenten a la Figura 11, s'aconsegueix trobar el sistema més òptim i la corba de rendiment de l'apartat 2.4.1.

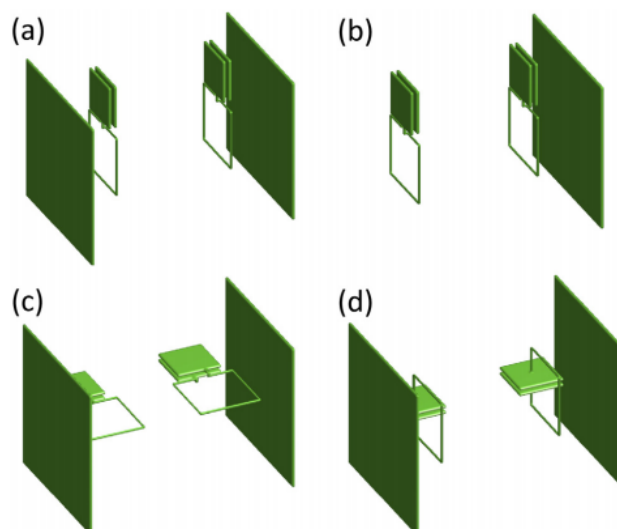


Figura 11. Varietat d'estructures ressonants per a la transferència d'energia sense fils.
 (a) Disseny òptim amb les bobines i condensadors paral·lels als plans metàl·lics connectats a terra. (b) (c) i (d) Variants de la estructura amb lleugeres modificacions respecte (a)

D'aquesta forma, s'aconsegueix incrementar l'eficiència inicial del sistema ideat per Soljačić i passar d'un 95,4% a un 97%. Aquesta és la tipologia d'emissor-receptor que s'instal·larà al sistema de transferència d'energia d'aquest projecte.

2.3.3. Fenomen de ressonància

La ressonància és un fenomen físic inherent en tots els cossos que coneixem, pel qual tendeixen a vibrar preferiblement a una determinada freqüència quan se'ls excita externament. La freqüència de ressonància depèn de la massa i de la elasticitat del cos que estem tractant de moure, per tant cada cos té la seva pròpia. La freqüència a la qual vibra un objecte quan li donem un cop és la seva freqüència natural de vibració, però quan s'obté la freqüència de ressonància ideal, la vibració de l'objecte és més enèrgica, de més potència i de major amplitud, i és més fàcil per a l'agent extern fer-lo vibrar. Aquestes consideracions són universals i aplicables a tot tipus de ressonàncies (acústiques, mecàniques, electromagnètiques, etc.).

2.3.4. Acoblament magnètic de ressonància

L'acoblament magnètic succeeix quan dos objectes intercanvien energia a través del seu camp magnètic oscil·lant. L'acoblament de ressonància, en canvi, es produeix quan les freqüències naturals dels dos objectes són aproximadament les mateixes.

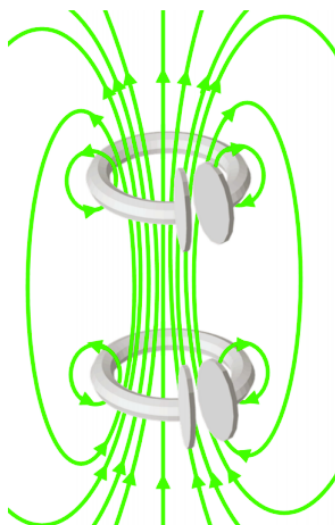
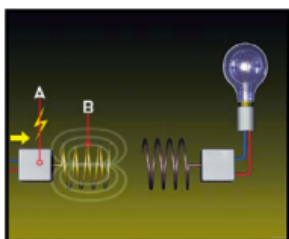


Figura 12. Acoblament ressonant de dues bobines situades a distància.

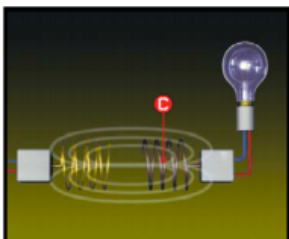
De color verd: línies del camp magnètic

En la Figura 12 podem veure, de color gris, dues bobines ideals en ressonància magnètica. Les zones de color verd il·lustren els seus camps magnètics. L'acoblament dels respectius camps magnètics és indicat per les connexions de les fletxes.

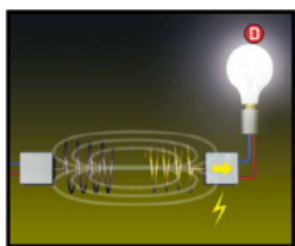
La transferència d'electricitat es realitza dins de l'espai limitat per les bobines, sense que aquesta es dissipï fora d'aquest espai. A més, altres objectes situats dins de l'espai entre les bobines amb una freqüència de vibració diferent no es veuen afectats per la ressonància magnètica ni l'energia despesa.



La font elèctrica (A) alimenta a la bobina emissora (B) i la fa oscil·lar a una freqüència determinada creant un camp magnètic.



La bobina receptora (C), de dimensions semblants, té la capacitat de ressonar a la mateixa freqüència, i pren l'energia del camp magnètic generat per la bobina emissora en un procés anomenat ressonància magnètica.



L'energia absorbida en el camp magnètic oscil·latori de la bobina receptora induïx una corrent elèctrica al dispositiu connectat (D).

2.3.5. Transferència no radiativa

La tecnologia de la witricitat per a la transferència d'energia és no radiativa i es basa en un camp magnètic de proximitat acoblat. En síntesi, l'emissor és una font d'energia omnidireccional però es caracteritza per només transmetre energia a aquells elements que tenen la mateixa freqüència de ressonància, per tant, només transmet energia a determinats receptors.

Moltes altres tècniques de transferència d'electricitat sense fils es basen en tècniques radiatives, com les transmissions de radio o les ones de llum.

El fet de ser una tècnica no radiativa comporta que la seva eficiència sigui més alta, ja que només emet energia directament al receptor amb el qual està ressonant, i no és perjudicial ni per a les persones ni animals segons la EMC/EMI. De fet, no requereix una línia de comunicació clara entre emissor i receptor, i és segur per a l'ús a casa, en hospitals, en oficines o en ambients industrials.

2.4. Característiques i beneficis

Aquesta tecnologia presenta importants beneficis de cara a la seva implantació. Aquest fet fa que sigui necessari tenir-la en compte durant les fases inicials d'un projecte, sobretot quan s'ha d'escollir quin tipus de tecnologia és la més adequada per a l'aplicació en qüestió.

2.4.1 Eficiència

El mode de transmissió sense fils de WiTricity és altament eficient a través de distàncies des de centímetres fins a alguns metres. Es defineix l'eficiència com la quantitat d'energia elèctrica aprofitable que és disponible al dispositiu connectat al receptor, dividida per la quantitat d'energia elèctrica subministrada a la font o dispositiu

emissor. En moltes aplicacions, l'eficiència excedeix el 90%, i les fonts de witricitat només transfereixen energia quan aquesta és requerida. Quan un dispositiu alimentat per witricitat no necessita capturar més energia, l'emissor redueix automàticament el consum de potència i es posiciona en estat de standby.

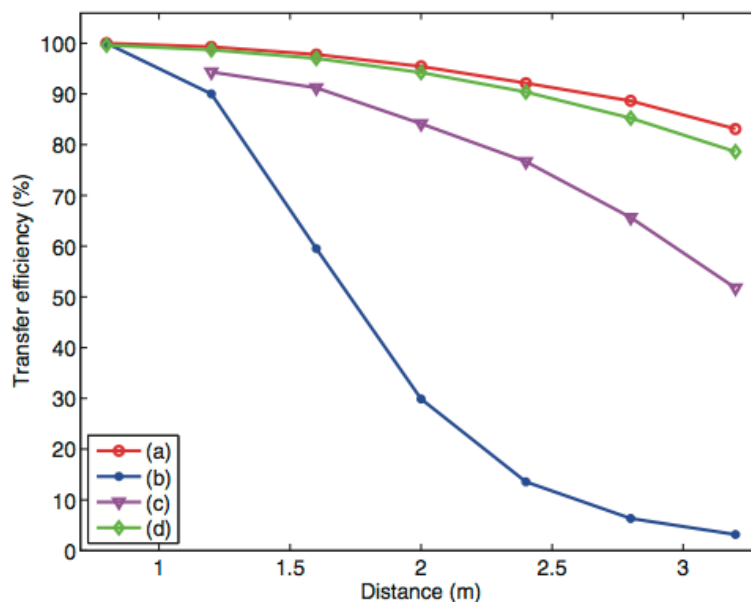


Figura 13. Eficiència en la transferència de les estructures de la Figura 11 en funció de la distància entre l'emissor i el receptor per a la configuració estàndard (cas a)

2.4.2 Resposta als obstacles

Els camps magnètics pròxims tenen moltes propietats que els fan excel·lents pel que fa a transferència d'energia. Els materials més comuns en construcció com fusta, vidre, plàstic, teixits, maons o formigó són essencialment transparents pels camps magnètics, permetent a la witricitat transferir energia eficientment a través d'aquests. A més, els camps magnètics pròxims tenen la habilitat d'esquivar obstacles metàl·lics que podrien bloquejar els camps magnètics.

2.4.3 Seguretat

La witricitat és un tipus de transferència d'energia elèctrica no radiativa, com s'ha mencionat anteriorment, recolzant-se en els camps magnètics propers. Els camps magnètics interaccionen molt feblement amb els organismes biològics, persones i animals, i està científicament provat que són segurs. El professor Sir John Pendry de l'Imperial College de Londres, un reconegut físic, explica: "El cos realment respon

fortament a camps elèctrics, motiu pel qual es pot cuinar en un microones, però no respon a camps magnètics. Actualment se sap que el cos té una resposta quasi zero als camps magnètics en termes de quantitat d'energia que absorbeix.”

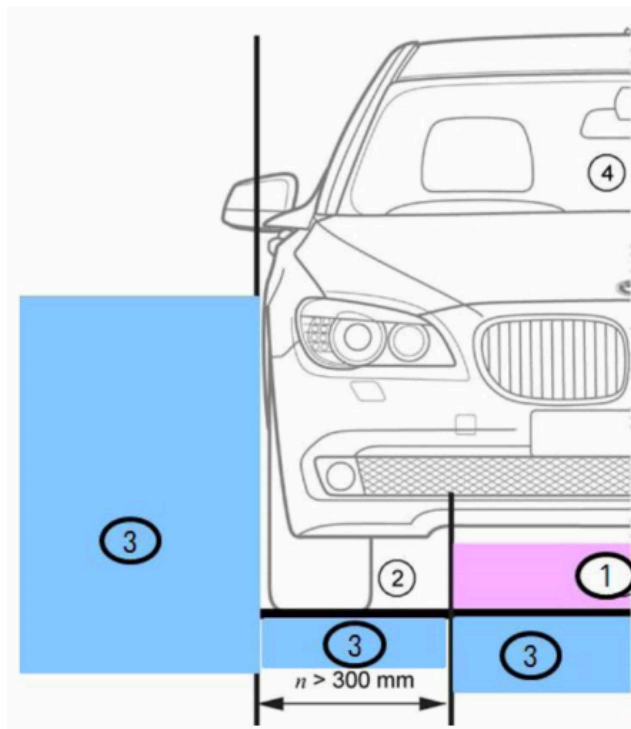


Figura 14. Magnitud del camp magnètic. Zona 1: Regió de màxima transferència d'energia, camp magnètic major i zona d'exposició humana curta. Zona 2: Regió inferior del vehicle. Camp magnètic decreixent i exposició humana curta. Zona 3: Regió externa. B inferior a ICNIRP. Exposició humana il·limitada. Zona 4: Interior del vehicle. B inferior a ICNIRP. Exposició humana il·limitada.

Els límits per a l'exposició humana a camps magnètics estan establerts per cossos reguladors com FCC o ICNIRP, i estan basats en estudis científics i mèdics. Aquesta tecnologia a més, ha estat desenvolupada seguint completament les regulacions pel que fa a camps magnètics i radiació electromagnètica.

2.4.4 Escalabilitat del disseny

Els sistemes basats en witricitat poden ser dissenyats per tal de complir amb un ampli ventall de nivells de potència. Els beneficis de l'alta transferència d'energia elèctrica a través de la distància poden ser assolits tant a nivells de potència de miliwatts com en el cas de quilowatts. Això permet a la witricitat ser usada en multitud d'aplicacions

diverses i per tant es diu que aquesta tecnologia opera en un mode de “load following”, transfereix tanta energia com l'element receptor requereix.

2.4.5 Flexibilitat en el disseny

El principi físic dels camps magnètics ressonants acoblats permeten als enginyers dissenyar sistemes amb diferents formes i dimensions, per tal de complir amb les especificacions i requeriments de cada projecte.

2.4.6 Tecnologia existent al mercat

Pel que fa al mercat actual, únicament l'empresa WiTricity Corporation, una spin-off fundada l'any 2007 pel professor Marin Soljačić i que té llicència exclusiva per fer ús de les patents emeses pel Massachusetts Institute of Technology, ha desenvolupat productes amb aquesta tecnologia.

Alguns exemples d'aquests productes són el WiT-2000, un kit per a desenvolupadors que es compon de diferents emissors i receptors fàcilment implementables a objectes quotidians com telèfons mòbils, tablettes, televisions, aparells d'il·luminació, etc.



Figura 15. Gamma de productes WiT-2000

Un altre producte que ofereix aquesta empresa és el WiT-3300, un sistema de càrrega per a vehicles elèctrics capaç de transferir energia fins a 20 centímetres de distància sense l'ús de cables. Està compost per un emissor, instal·lat al paviment, i d'un receptor acoblat a la part inferior del vehicle.

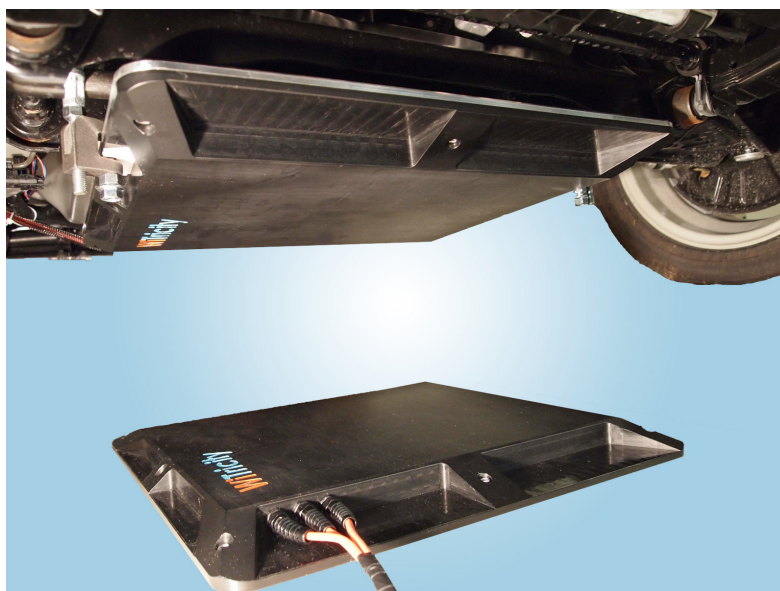


Figura 16. Sistema de recàrrega WiTricity

Aquest sistema pot transferir fins a 3,3 kW de potència amb un rendiment superior al 90%. El cost d'implementació és baix, és tolerant a les desalineacions d'aparcament, és segur per a persones i animals i és quatre vegades més petit i dues vegades més lleuger que la inducció magnètica tradicional.

Aquest model però, queda substituït per una nova versió de 10kW a partir d'un nou avenç tecnològic l'any 2011. La universitat d'Stanford, amb col·laboració amb l'empresa WiTricity, van aconseguir transferir 10 kW amb un rendiment del 97% a 1,98 metres de distància. La peculiaritat d'aquest nou sistema és l'addició d'una placa metàl·lica connectada a terra en la part posterior del bobinat (Shanhui Fan et al., 2011).

Atributs	Especificacions
Freqüència d'operació	10 MHz, nominals
Tolerància de posició lateral	± 25 cm en horitzontal ± 25 cm en vertical
Potència de sortida	300 W - 10 kW
Voltatge sortida	350 V - 400 V a 10 kW i a 18 cm

Dimensions físiques	
Mòdul emissor	50x50x3,75 cm / 12,5 kg
Mòdul receptor	50x50x3,75 cm / 12,5 kg
Amplificador	22x33x13 cm / 4,2 kg
Rectificador a bord	20x28x7 cm / 3,6 kg

Taula 2. Especificacions WiTricity

2.5. Altres aplicacions

La possibilitat que ofereix aquest tipus de tecnologia de treballar amb rangs de potència des de miliwatts fins a diversos quilowatts, permet ser usada en un gran ventall d'aplicacions:

- en la indústria, en el subministrament elèctric d'actuadors mòbils robotitzats;



Figura 17. Robot sense bateries propulsat per witricitat

- en el sector mèdic, en la recàrrega de marcapassos sense intervenció quirúrgica;

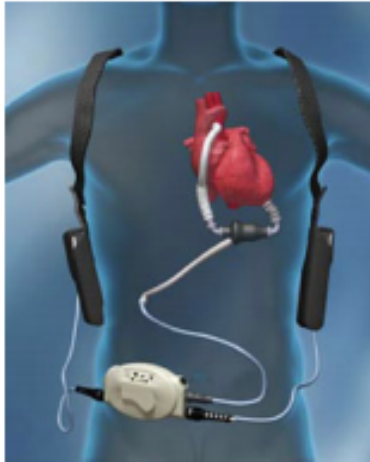


Figura 18. Marcapassos elèctric a partir de witricitat

- en la indústria automobilística, en la recàrrega no només de cotxes, sinó en camions i motos;



Figura 19. Recàrrega sense fils de tot tipus de vehicles elèctrics

- en la llar, en el subministrament elèctric de televisors, telèfons, ordinadors o electrodomèstics, tots ells sense l'ús de cables.



Figura 20. Carregador de mòbils per witricitat

3. DISSENY DE LA INSTAL·LACIÓ

Un cop escollida la tecnologia que s'usarà, s'explicaran els components que intervindran en el disseny, tant de la tecnologia de transmissió sense cables com dels presents en un vehicle elèctric.

S'estudiarà quina és la quantitat de mòduls que s'han d'instal·lar i quina és la manera més òptima de col·locar-los. Es farà també un dimensionat de la instal·lació elèctrica necessària per abastir el sistema de recàrrega.

En els següents punts s'explica amb més detall els diferents elements dels quals es compon el sistema dissenyat.

3.1. Circuit bàsic de funcionament

El sistema de transferència d'energia elèctrica sense cables es compon de quatre elements:

- Font ressonadora
- Mòdul receptor
- Amplificador RF
- Rectificador

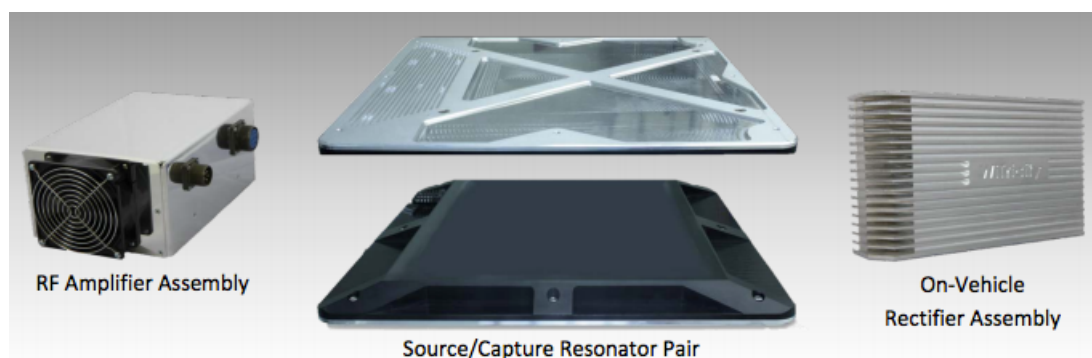


Figura 21. Components del sistema witricitat

El connexionat és el que es pot veure en la següent figura.

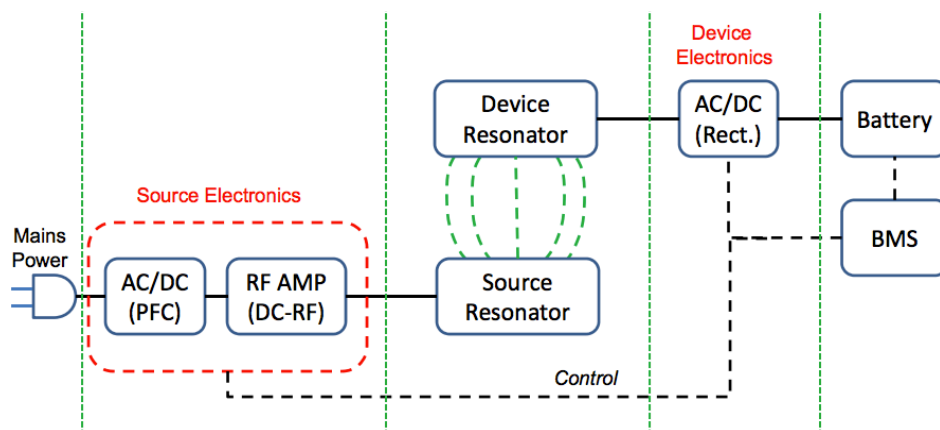


Figura 22. Connexionat dels elements del sistema witricitat

3.1.1 Font ressonadora

El bloc encarregat de l'emissió d'energia elèctrica és la font ressonadora o mòdul emissor. Aquesta font, formada bàsicament per un circuit ressonant -una inductància i un condensador- entrarà en ressonància magnètica amb el receptor quan aquests dos estiguin sintonitzats per fer-ho a la mateixa freqüència.



Figura 23. Font ressonadora

Les característiques del mòdul emissor escollit en aquest projecte són les que ens proporciona l'empresa WiTricity, Taula 2, fabricant d'aquest tipus de components.

Per tal de transmetre la màxima potència en el mínim temps s'ha escollit el model comercial que més potència proporciona, el que pot intercanviar fins a 10kW de

potència. Val a dir que l'empresa WiTricity ofereix als seus clients productes a mida que no estan catalogats, d'aquesta forma s'adapten a cadascuna de les necessitats que puguin tenir.

3.1.2 Mòdul receptor

Pel que fa al mòdul de captura, aquest és l'encarregat de rebre l'energia elèctrica de l'emissor a través del camp magnètic ressonant. L'empresa WiTricity proporciona aquest mòdul ja sintonitzat i apunt per treballar amb el mòdul emissor corresponent.

Aquest receptor es fixarà a la part inferior del vehicle, tal i com s'explica en l'apartat 3.2.5, i es connectarà al rectificador, ja que la senyal procedent de la bobina receptora és alterna i a una freqüència de 10 MHz.

3.1.3 Amplificador RF

L'aparell amplificador que disposa d'un convertidor AC/DC és l'encarregat de primer transformar la corrent alterna provinent de la xarxa a corrent continu, per després convertir aquest corrent continu en una senyal alterna de 10 MHz de freqüència. Aquesta freqüència és la de ressonància del sistema, tant per l'emissor com pel receptor.

3.1.4 Rectificador

L'últim component del sistema witricitat és el rectificador. Aquest aparell s'encarrega de transformar la senyal alternant provinent del mòdul receptor en una senyal quasi contínua que alimenta directament la bateria.

3.1.5 Battery Management System

Hi ha un cinquè element en el sistema de transmissió d'energia elèctrica que és el Sistema de gestió de la bateria (BMS). Aquest és l'encarregat de protegir la bateria de possibles danys, prolongar-ne la seva vida i mantenir la bateria en un estat en el qual compleix els requeriments de funcionalitat pels que ha estat especificat, nivells d'intensitat, grau d'arriat de la ona després del rectificador, etc.

3.2. Dimensionat de la instal·lació

Com ja s'ha comentat amb anterioritat, el sistema de recàrrega s'instal·larà en un carril d'una autopista, en aquest cas l'AP7. És en el paviment d'aquest carril on s'instal·laran els emissors de witricitat per sobre dels quals es desplaçarà el vehicle a carregar.

Per tal de fer el dimensionat de la instal·lació de recàrrega, es dividirà la tasca en tres apartats on primerament es definirà la distribució dels mòduls emissors sobre la calçada; després, com aquests es subjectaran a la pavimentació; i per últim, com aquests es connectaran a la xarxa per tal de complir la seva funció.

3.2.1 Distribució mòduls emissors

Un mòdul emissor té unes dimensions de 50x50x3,75 cm adequades per adaptar-se a l'amplada de via d'un cotxe elèctric i cabre completament en la seva part inferior. D'aquesta forma, el vehicle pot desplaçar-se per sobre seu i anar acoblant el mòdul receptor als emissors que va trobant consecutivament.

La distància mitjana entre les gasolineres instal·lades en una autopista, concretament en el tram La Jonquera-Barcelona és d'una cada 40 quilòmetres aproximadament. El dimensionat de la distribució dels mòduls emissors i la potència instal·lada es farà de tal manera que un vehicle pugui arribar a recórrer aquesta distància, com a mínim, un cop hagi entrat en el recorregut de la electrolinera, partint del cas més desfavorable en el qual la bateria està totalment descarregada. S'ha considerat així perquè l'objectiu és que en el futur existeixi una xarxa d'electrolineras, com la que s'està dimensionant, que provinguin de la transformació d'una antiga gasolinera, i que per tant estiguin a una distància entre elles de com a mínim 40 quilòmetres.

Per fer el dimensionat es parteix de l'Annex A, on tenim les característiques elèctriques dels vehicles a estudiar. Partint de la base que l'emissor de witricitat té una potència de 10 kW i que el rendiment de transmissió és del 97%, tenim que la potència que s'està subministrant a la bateria i al motor conjuntament és de 9,7 kW. S'ha calculat que per recórrer una distància de com a mínim 40 quilòmetres és necessari instal·lar 4 mòduls que subministren una potència al receptor de 38,8 kW.

Com que el vehicle s'està desplaçant durant la recàrrega, s'ha de restar a aquesta potència l'energia necessària per mantenir el seu moviment per trobar la potència neta que s'està subministrant únicament a la bateria.

$$P_{neta} = P_{sub} \cdot \eta \quad (\text{Eq. 6})$$

Essent:

P_{neta} : Potència en el mòdul receptor, en aquest cas 4x9,7 kW.

P_{sub} : Potència subministrada al mòdul emissor, en aquest cas 4x10 kW.

η : Rendiment de la transmissió energètica, en aquest cas 97%.

D'altra banda, l'energia consumida durant el desplaçament és la multiplicació el consum del vehicle per la longitud del tram a recórrer.

$$P_{mov} = \frac{C \cdot v}{100} \quad (\text{Eq. 7})$$

Essent:

P_{mov} : Potència per mantenir el motor del vehicle funcionant.

C: Consum del vehicle en kWh/100 km.

v: Velocitat a la qual viatja el vehicle, en aquest cas 80 km/h.

El problema que s'origina arribats a aquest punt és que la longitud del tram que volem dimensionar i la velocitat del vehicle a la qual circularà per aquest carril són incògnites. Per solucionar aquest problema es segueix un mètode iteratiu, en el qual es defineixen aquest valors inicialment i en funció dels percentatges de càrrega per cada vehicle es van modificant. L'objectiu és arribar a un bon consens entre velocitat i espai recorregut versus el percentatge de càrrega final de la bateria.

Per aquest projecte, s'ha escollit una velocitat del vehicle de 80 km/h, ja que representa una velocitat ni molt lenta pel tipus de via ni molt ràpida pel temps de recàrrega. Pel que fa a la longitud del tram, s'ha cregut convenient establir-lo en 12 km, d'aquesta forma els vehicles poden recarregar la bateria i assolir un percentatge relativament important.

La potència real neta subministrada a la bateria per a la seva recàrrega serà la potència neta de transmissió menys la potència necessària per mantenir el motor del vehicle funcionant.

$$P_{real} = P_{neta} - P_{mov} \quad (\text{Eq. 8})$$

Essent:

P_{real} : Potència real neta subministrada a la bateria, en kW.

P_{neta} : Potència en el mòdul receptor, en aquest cas 4x9,7 kW.

P_{mov} : Potència per mantenir el motor del vehicle funcionant.

Per calcular l'espai que podrà recórrer el vehicle mitjançant aquest sistema de recàrrega primer es calcula la intensitat que circula cap a la bateria.

$$I = \frac{V}{P} \quad (\text{Eq. 9})$$

Essent:

I: Intensitat subministrada a la bateria, en A.

V: Tensió a la qual treballa la bateria del vehicle, en V.

P: Potència real subministrada a la bateria, en W.

És molt important que les intensitats a les quals s'arriba mitjançant aquest sistema de recàrrega no superin mai les intensitats màximes admissibles per les bateries instal·lades als vehicles, a fi efecte de no malmetre-les. En aquest projecte s'ha vist que únicament pel Toyota Prius aquesta intensitat era major, degut bàsicament a les petites dimensions de la bateria, ja que és un híbrid. Per solucionar aquest problema s'ha previst instal·lar al receptor un limitador d'intensitat.

Un cop calculada la intensitat que es subministra a la bateria, i sabent segons el fabricant de les bateries quina quantitat de corrent és capaç de subministrar en una hora es pot saber quin serà el temps necessari per carregar la bateria al 100%. Fent llavors una simple regla de tres podem saber per a 12 km de longitud i una velocitat de 80 km/h quin percentatge de la bateria podem recarregar.

Els càlculs s'han resumit en la taula següent:

Model	Potència real neta a la bateria (kW)	Espai que podrà recórrer (km)	Percentatge de càrrega (%)
Toyota Prius	34,64	37,00	100,00
MINI E	20,62	27,67	17,97
Mitsubishi i-Miev	28,65	50,93	39,18
Citröen C-Zero	28,65	50,93	39,18
Renault Fluence ZE	27,85	47,29	24,89
Nissan Leaf	27,83	47,00	26,86
Tesla S 40	26,17	40,59	10,68

Taula 3. Valors resultants del disseny

D'aquesta forma, el sistema de recàrrega serà capaç de proporcionar de mitjana 44,07 quilòmetres més d'autonomia.

Un cop definida la longitud del sistema de recàrrega, és possible definir la distribució dels mòduls emissors. Anteriorment s'ha acordat instal·lar 4 mòduls per tal de subministrar suficient energia al cotxe. Com que la manera més eficient de col·locar-los dependrà de la superfície inferior del vehicle, s'adaptarà la seva distribució a aquesta restricció. Quatre mòduls tenen una superfície d'1 m², com que alguns dels vehicles estudiats en aquest projecte tenen una amplada inferior a 1,5 metres, s'ha establert que aquests mòduls es col·loquin de forma quadrada tal i com es mostra en el Plànol número 2.

Aquests emissors, tenen la particularitat de poder transmetre energia eficientment encara que el receptor no estigui perfectament alineat amb ell. De fet, el centre del receptor pot estar desplaçat 25 cm fora del perímetre de l'emissor i la capacitat de transferència es manté. Així doncs la variació lateral que podrà tenir un vehicle quan estigui recarregant la seva bateria serà de 25 cm per a cada costat.

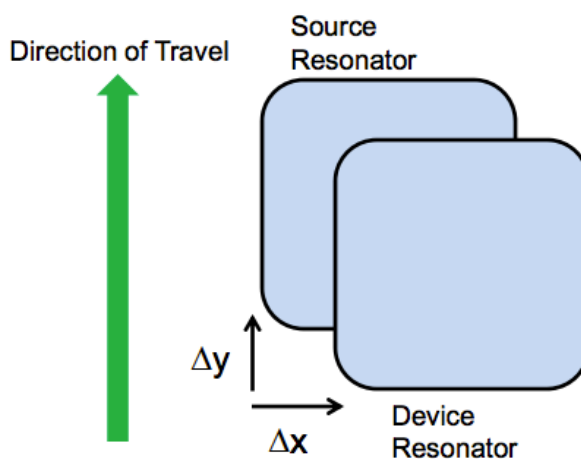


Figura 24. tolerància a l'alineament

Tenint en compte aquesta variació, la distància entre un emissor i el següent pot ser de 1,5 metres. Tot i això però, com es veurà més endavant en l'apartat 3.2.8, fent ús d'un condensador la distància final podrà ser de 3 metres.

3.2.2 Etapa inicial del sistema de recàrrega

Un cop calculat el condensador en l'apartat 3.2.8, i per tal que mantingui un corrent constant a la bateria, és necessari que primerament el condensador s'hagi carregat completament. Per fer-ho, s'ha dissenyat l'etapa inicial del sistema de recàrrega d'una forma diferent a la resta del tram.

L'objectiu és carregar el condensador, tan bon punt el vehicle entra al sistema de recàrrega, amb el mínim temps possible.

El temps de càrrega d'un condensador ve donat per la següent expressió:

$$t = 5RC \quad (\text{Eq. 10})$$

Essent:

t: Temps de recàrrega d'un condensador al 99%, en segons.

C: Capacitat del condensador, en F.

R: Resistència, en Ω .

D'aquesta manera trobem que el temps per carregar completament el condensador per a cada model de vehicle és el que apareix en la següent taula.

Model	Vpic (V)	Intensitat (A)	Resistència (Ω)	Capacitat (F)	Temps (s)	Espai (m)	Nº plaques
Toyota Prius	201,6	134	1,504	0,452	3,402	75,6	50,4
MINI E	380	52,153	7,286	0,176	6,413	142,5	95
Mitsubishi i-Miev	330	84,382	3,911	0,285	5,569	123,75	82,5
Citröen C-Zero	330	84,382	3,911	0,285	5,569	123,75	82,5
Renault Fluence ZE	398	67,971	5,855	0,229	6,716	149,25	99,5
Nissan Leaf	480	56,310	8,524	0,190	8,100	180	120
Tesla S 40	480	52,850	9,082	0,178	8,100	180	120

Taula 4. Dimensionat etapa entrada sistema recàrrega

Així doncs, per assegurar que el condensador instal·lat per a cada model de vehicle elèctric és totalment carregat, és necessari instal·lar 120 plaques de forma consecutiva en l'inici del tram i situades cada 1,5 metres.

3.2.3 Subjecció mòduls emissors

Els mòduls emissors aniran subjectats al paviment de la carretera mitjançant 8 cargols DIN M5x3mm amb les respectives femelles.

Estaran encastats a la calçada dins un calaix de 55x55x10cm de tal forma que aquests quedin ocults i no interfereixin amb el recorregut de les rodes del vehicle encara que aquest hi passi per sobre.

La seva instal·lació es farà tenint en compte el seu manteniment o reparació i per tant totes les fixacions seran desmuntables.

Es pot veure amb més detall al plànol número 1.

3.2.4 Instal·lació elèctrica receptora

Per fer el dimensionat de la instal·lació elèctrica receptora serà necessari primer definir quants consumidors tindrem simultàniament al nostre sistema. Si fem cas a la Direcció

General de Trànsit, aquesta recomana que la distància mínima de seguretat entre dos vehicles sigui de 200 metres. D'aquesta forma, per a 12 quilòmetres de via es tindran com a màxim 60 vehicles carregant-se al mateix temps.

Així doncs, 60 vehicles que consumeixen 40 kW de potència cadascun, i tenint en compte el factor de potència i la caiguda de tensió en les línies obtenim una potència total de la instal·lació de 3,375 MW. Com a conseqüència d'això, s'haurà de fer un dimensionat de mitja tensió per les línies de transmissió elèctriques que abasteixen els diferents trams de la via, i un altre dimensionat de baixa tensió per alimentar els diferents mòduls emissors.

El dimensionat de la instal·lació s'explicarà en l'apartat 4, i els càlculs elèctrics són els presents en l'Annex B.

3.2.5 Subjecció dels mòduls receptors

Els mòduls receptors, concretament quatre, aniran subjectats a la part inferior del cotxe a través d'uns ancoratges que s'adaptaran a la forma d'aquest i coincidiran amb els 8 forats de la carcassa del receptor. L'empresa WiTricity ja proveeix d'aquests elements en la compra del receptor.

S'ha de tenir en compte que la distància entre la part més baixa del vehicle i la calçada ha de ser de com a mínim el valor que s'especifica en la norma ISO 612/1978 i la homologació de cada vehicle. Cal afegir que aquest valor no és aconsellable que sigui molt alt ja que amb la distància el rendiment de transferència del sistema disminueix.

Així doncs, quan es procedeixi a la seva instal·lació és important arribar a un consens entre aquestes dues distàncies i que com a màxim sigui de 18 cm per garantir un rendiment mínim del 97%.

3.2.6 Resistència a compressió del mòdul emissor

Serà important que els mòduls emissors siguin capaços de resistir el pas dels cotxes i per tant de suportar càrregues d'entre 200 i 400 kg. És per això que la carcassa està realitzarà en acer i disposa unes nervadures que li donen rigidesa i resistència al pas de càrregues variables.

La estanqueïtat també serà una propietat important a complir pels mòduls emissors ja que al estar a la intempèrie es farà necessari que resisteixin bé les inclemències del temps. L'empresa proveïdora d'aquests aparells certifica la seva durabilitat en aquestes condicions .

3.2.7 Resistència a tracció del mòdul emissor

No es preveu que hi hagin forces aplicades que puguin provocar forces a tracció.

3.2.8 Optimització del disseny

En la sortida dels mòduls receptors tenim una ona de freqüència ressonant de 10 MHz provinent d'un corrent continu ondulat. Abans de poder enviar aquesta senyal alterna a la bateria és necessari rectificar-la. Primerament es fa passar aquesta per un rectificador d'ona completa per transformar la part negativa de la corrent alterna en positiva, i després, mitjançant un circuit RC, s'aconsegueix que el voltatge altern es converteixi en continu gràcies a les petites oscil·lacions que té la senyal a la sortida.

Totes aquestes accions són les que fa el rectificador que s'ha comentat anteriorment en l'apartat 3.1.4. Malgrat això, com que el mòdul receptor no està immòbil i es mou per anar trobant cada mòdul receptor, obtenim encara, tot i la rectificació anterior, una senyal alterna tal i com es pot veure en l'Annex D. Si s'observa amb deteniment la sortida del mòdul receptor, la senyal té una component sinusoïdal, de període la distància entre cada mòdul receptor, com a conseqüència del moviment d'aquest, i a més una segona component alterna deguda a la freqüència de ressonància a la que s'ha sintonitzat el sistema.

Si la distància entre cada mòdul emissor és més petita de 50 cm, la component sinusoïdal com a conseqüència del moviment serà nul·la, i per tant amb el rectificador original serà suficient per alimentar la bateria. Tot i això, aquesta distància representa un cost molt elevat per la instal·lació, tant econòmic com temporal, ja que col·locar una placa cada 50 cm durant 12 quilòmetres representa una enorme quantitat de mòduls emissors.

Per optimitzar el disseny s'ha optat per instal·lar un segon rectificador, destinat a adaptar la senyal alternant com a conseqüència del moviment. Per fer-ho, s'ha tingut en compte el temps de càrrega i el temps de descarrega.

El temps de càrrega s'ha calculat com l'espai en què el receptor rep energia dividit per la velocitat a la qual es mou aquest. Així, tal i com s'ha explicat anteriorment, si l'espai en el qual hi ha transferència és d'1,5 metres i la velocitat del vehicle es manté constant durant tot el recorregut, entre dos espais consecutius de càrrega hi ha d'haver com a màxim 1,5 metres.

D'aquesta forma es garanteix el balanç entre la càrrega i la descarrega, i que el condensador no es va descarregant durant el recorregut.

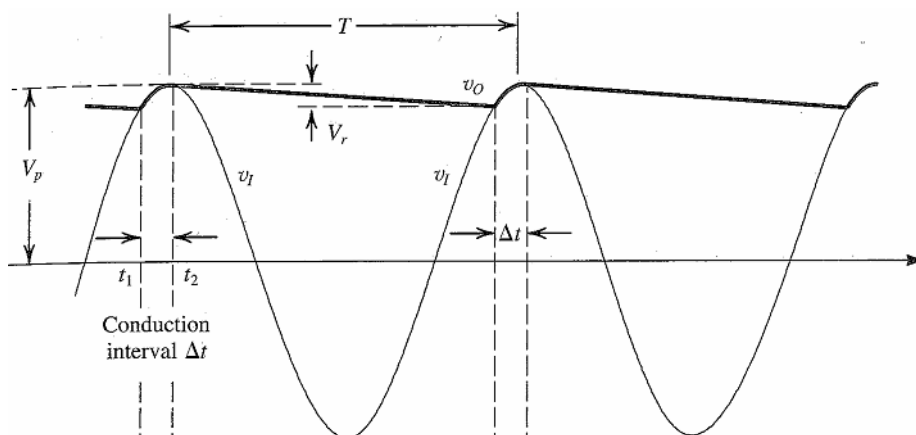


Figura 25. Ona original i rectificada

Per fer el càlcul s'han utilitzat les equacions per al rectificador de mitja ona següents:

$$C = \frac{IT}{2V_r} \quad (\text{Eq. 11})$$

Essent:

V_r : Voltatge d'arissat, en V.

I: Intensitat, en A.

T: Període de la senyal, en segons.

C: Capacitat del condensador, en F.

$$R = \frac{V_p}{I} \quad (\text{Eq. 12})$$

Essent:

V_p : Voltatge de pic, en V.

I: Intensitat, en A.

R: Resistència del filtre, en Ω .

D'aquesta forma es troba que el condensador i la resistència adequats per a complir amb les especificacions són els que es presenten en la taula següent, per a cada tipus de vehicle.

Model	Intensitat (A)	Voltatge pic (V)	Període (s)	Voltatge arribat (V)	Capacitat (F)	Resistència (Ω)
Toyota Prius	134 (*)	201,60	0,14	20,00	0,45	1,50
MINI E	54,26	380,00	0,14	20,00	0,18	7,00
Mitsubishi i-Miev	86,81	330,00	0,14	20,00	0,29	3,80
Citröen C-Zero	86,81	330,00	0,14	20,00	0,29	3,80
Renault Fluence ZE	69,98	398,00	0,14	20,00	0,24	5,69
Nissan Leaf	57,98	480,00	0,14	20,00	0,20	8,28
Tesla S 40	54,52	480,00	0,14	20,00	0,18	8,80

Taula 5. Disseny del rectificador

D'aquesta forma, amb un condensador de capacitat la indicada en la taula anterior podem assegurar la recàrrega de la bateria.

Amb aquest rectificador aconseguim subministrar l'energia necessària per mantenir un corrent constant a la bateria i salvar l'espai de 3 metres entre cada mòdul emissor.

3.3. Dimensionat del carril de recàrrega

Un cop definit com a 80 km/h la velocitat mínima a la qual hauran d'anar els vehicles que vulguin carregar la bateria, és possible dimensionar el carril. Segons la normativa

* En el cas del Toyota Prius, com que la bateria és de dimensions molt reduïdes en comparació amb els demés vehicles, la capacitat de recàrrega del sistema genera una intensitat superior a la admissible per aquesta. És per això que es preveu la utilització d'un limitador d'intensitat en aquest cas.

Trànsit de la DGT l'amplada mínima d'un carril establert a aquesta velocitat i per aquest tipus de vehicles és de 3,5 metres, però com que es vol instal·lar aquest sistema de recàrrega en un carril existent de l'autopista AP7, s'establirà com a 3,6 metres ja que és la distància existent. La finalitat de no voler separar el carril de la electrolinera de la resta és donar la oportunitat un vehicle que ja ha recarregat la bateria abans de finalitzar el tram pugui incorporar-se a la resta dels carrils ràpids de la autopista tan sols fent un canvi de carril, evitant així haver de recórrer la resta del tram a velocitat lenta.

D'altra banda, quan un vehicle que hagi carregat completament la seva bateria es mantingui en el carril de recàrrega no suposarà cap perill ni pel vehicle ni per la instal·lació, ja que l'emissor s'autoregularà i transmetrà únicament l'energia necessària per alimentar el motor i mantenir el vehicle en moviment.

El tram d'entrada del carril de l'electrolinera, de desacceleració per passar de 120 km/h a 80 km/h, es dimensionarà com a tal, i tindrà una longitud de com a mínim 100 metres que garantirà espai suficient per a poder minorar la marxa. El tram de sortida, en aquest cas d'acceleració, ha de permetre, contràriament, passar de 80 a 120 km/h i tindrà una distància de com a mínim 150 metres.

Segons la Instrucció de Carreteres Norma 8.1 de Senyalització vertical s'haurà de senyalitzar la disponibilitat d'aquesta electrolinera 1 quilòmetre i 200 metres abans de l'inici d'aquesta. Els cartells seran del tipus i de les dimensions definides a aquesta normativa.



Figura 26. Símbol Europeu d'electrolinera

3.4. Seguretat

Davant possibles imprevistos com ara avaries d'algun vehicle o accidents, el disseny de la electrolinera complirà amb les normes de seguretat estipulades per la Llei de Seguretat Vial.

Si un vehicle queda parat en el carril de recàrrega aquest senyalitzarà la seva posició amb triangles reflectants i avisarà als serveis d'emergència. Com que el carril de la electrolinera no és tancat, els vehicles que vinguin tot seguit actuaran de la mateixa manera que en un cas d'una via normal, minoraran la marxa, esquivaran al vehicle aturat incorporant-se al carril de la seva esquerra i es reincorporaran al carril de recàrrega.

Quan els ocupants del vehicle tinguin la necessitat de baixar, això no representarà cap perill per a la seva salut, tal i com s'ha mencionat en l'apartat 2.4.3.

Si el vehicle aturat queda posicionat damunt d'un grup d'emissors, el PLC desconnectarà aquell grup per tal d'evitar avaries més greus al vehicle o possibles danys a persones com a conseqüència de sobrecàrregues al vehicle.

Pel que fa al compliment de les normes de seguretat, segon la Llei de Seguretat Vial, el voral tindrà unes dimensions suficients per a poder estacionar el vehicle i no obstaculitzar el pas, i poder esperar als serveis d'emergència.

4. CONSTRUCCIÓ I DIMENSIONAT ELÈCTRIC

S'ha escollit com a punt d'instal·lació de la electrolinera el quilòmetre 45 de l'autopista AP7, al seu pas per Bàscara. Aquest punt resulta interessant per la proximitat d'una línia de mitja tensió de 25 kV. Aquesta línia és l'adequada per a subministrar l'energia necessària a la instal·lació segons els càlculs adjunts en l'Annex B, i se'n farà una derivació. D'aquesta forma el cost d'instal·lació de la línia d'abastiment fins al punt de consum serà mínim.

La línia distribuïdora es connectarà a la estació principal on hi haurà els comptadors i les cel·les seccionadores encarregades de la protecció de la instal·lació.

S'ha calculat que la distància del tram soterrat d'aquesta línia fins al punt de subministrament és de 200 metres.

De la estació principal sortirà la derivació individual soterrada de mitja tensió i de llargada 12 quilòmetres que abastirà 30 subestacions. La distància entre la derivació individual i cada subestació és de 20 metres. Aquestes subestacions disposaran també de cel·les seccionadores i estaran connectades en paral·lel entre elles, de tal manera que si una subestació cau, les demés poden continuar funcionant.

Cada subestació distarà de la següent una distància de 400 metres i abastirà el conjunt d'emissors situats 200 metres més amunt i més avall de la seva posició. Disposarà d'un transformador que adaptarà la tensió a 400 V per alimentar els grups de plaques i el PLC de control.

S'ha estimat que la longitud de cable més desfavorable per al connexionat dels 4 mòduls de witricitat en cada grup emissor amb la derivació individual sigui de 10 metres.

S'explicarà més detalladament quines són les dimensions i models escollits per cadascun d'aquests elements. Els càlculs referents a aquest dimensionat són els presents en l'Annex B i l'esquema elèctric es pot veure en el Plànol número 3.

4.1. Conductors

Els conductors utilitzats en els trams de mitja tensió seran d'alumini amb aïllament ERP (goma etilè-propilè), garantint així la seva protecció i satisfent la Norma vigent UNE 21.123 per a "Cables de Transport d'energia aïllats amb dielèctrics secs per tensions nominals de 1kV a 30kV".

Aniran embeguts en un tub de PVC, d'aquesta manera s'assegura una major residència mecànica.

Segons els càlculs, aquesta línia es farà mitjançant,

- Denominació: Cable HEPRZ1 Al H25
- Fabricant: General Cable
- Secció: 3
- Conductor: Alumini
- Tensió treball: 18/30kV

i es connectarà a la estació principal d'entrada al sistema.

La línia anirà introduïda en un tub metàl·lic flexible de 225 mm de diàmetre de les següents característiques:

- Denominació: Tub metàl·lic blindat flexible de 225 mm de diàmetre.
- Fabricant: INTERFLEX S.A.
- Normes: UNE 20.324, UNE 36.086, DIN 49.020 i NF C68.101.
- Funda exterior de PVC, flexible i autoextingible.
- Color vermell RAL 3.000.
- Blindat
- Estanc
- Grau de protecció: IP667 (segons UNE 20.324)
- Resistència a l'aixafament: 1.500 N (segons NF C68.101)

Pel que fa al cablejat de baixa tensió col·locat després del transformador de les subestacions per alimentar els mòduls emissors, aquest serà del tipus:

- Denominació: Cable RZ1-K
- Fabricant: General Cable
- Secció: 4x240mm² + T
- Conductor: Alumini
- Tensió treball: 0,6/1kV
- Flama: No propagador de flama, IEC 60332-1, UNE-EN 50265-2-1.
- Conductor de Cu: classe 5.
- Aïllament: XLPE tipus DIX3.
- Coberta: Barreja especial zero halògens, tipus Afumex Z1.
- Temperatura màxima d'utilització: 90 ° C.
- Característiques constructives: UNE-21123 (P-2).

Els colors dels conductors aïllats estaran d'acord amb la norma UNE 21.089, són els que es mostren a continuació:

Groc	Protecció
Blau clar	Neutre
Negre	Fase
Marró	Fase
Gris	Fase
Blau	Negatiu
Vermell / marró	Positiu

Per a la col·locació dels conductors se seguirà el que assenyala les instruccions ITC-BT-07, ITC-BT-19, ITC-BT-20, ITC-BT-21.

Cada extrem del cable s'haurà de subministrar amb un mitjà autoritzat d'identificació. Aquest requisit tindrà vigència especialment per a tots els cables que acabats en la part posterior o en la base d'un quadre de comandaments, i en qualsevol altra circumstància en que la funció del cable no sigui evident immediatament.

Els mitjans d'identificació seran etiquetes de plàstic retolat, fermament subjectes al caixetí que precinta el cable.

4.2. Rases

Estan convenientment dimensionades per poder allotjar els conductors que per elles circulen, amb la secció suficient, complint els requisits de les normes particulars. La profunditat serà suficient perquè cap esforç mecànic sobre l'exterior pugui influir sobre els conductors una vegada s'ha finalitzat la obertura i tapat de la rasa corresponent.

La rasa destinada a canalitzar el tram subterrani de la línia de Mitja Tensió tindrà una amplada suficient de 60 cm i una profunditat respecte el terra de 90 cm.

Perquè el tub quedi perfectament assentat, s'omplirà la rasa amb uns 20 cm d'arena de riu. Sobre aquesta tapa es posarà una filera de maons buits senzills que protegiran mecànicament els tubs. Els esmentats maons, es disposaran en la direcció de soga perpendicular a l'eix de la línia.

La resta de la rasa s'omplirà de terra exempta d'àrids majors a 4 cm. Es realitzarà per capes successives piconades fins aconseguir una densitat seca no menor al 95% de la obtinguda en l'assaig Proctor Normal.

A uns 20 cm sobre la filera de maons protectors es col·locarà una cinta de senyalització que avisarà de l'existència de la línia elèctrica. Aquesta cinta serà de polietilè, seguint la recomanació UNESA 0205A.

Pel que fa als paral·lelismes i als encreuaments amb canalitzacions destinades a aigua o gas que puguin existir derivades de instal·lacions pròximes o de desaigües de la pròpia autopista, es guardarà una separació mínima de 20 cm. Aquesta mateixa separació serà necessària si els encreuaments es produeixen amb calbes de telecomunicació com els que hi haurà entre PLC i contactors.

La rasa es realitzarà mitjançant maquinaria amb retroexcavadores o rasadores. Una vegada feta la excavació es netejarà el fons de la rasa, col·locant el tub a continuació i omplint amb arena fina uns 20 cm. Posteriorment es col·loca un maó de tapiar, rajola o teula, que protegeixi el tub de posteriors actuacions sobre la línia, omplint la resta de la rasa amb el material extret no sense abans col·locar a 50 cm de la superfície del terreny una malla de plàstic de senyalització de perill de mitja tensió.

Quan s'han de traspasar calçades, murs o cimentacions es col·locaran tubs de PVC d'un espessor mínim de paret de 4,3 mm (a 10 atm) i un diàmetre de 100 mm begut amb formigó.

La compactació del terreny es realitzarà amb màquines vibroapisonades per evitar l'aparició de sots.

4.3. Arquetes

Quan la derivació general creui una via de comunicació i cada 100 m del seu recorregut, s'instal·laran arquetes de registre dimensionades adequadament.

Aquestes arquetes estaran formades per un encofrat de formigó armat que protegeix per complet el perímetre de l'arqueta per evitar desprendiments de terres i filtrats d'aigua. El sòl estarà igualment protegit per una capa de formigó, amb una superfície en lleugera vessant per facilitar el drenatge de l'aigua cap al colador que s'instal·larà a cada arqueta. A la part superior es disposarà d'una obertura circular de 1,1 m de diàmetre, tancada per una tapa doble metàl·lica, la qual assegura el tancament hermètic del conjunt.

El material que forma les arquetes, maons i bigues i formigó seran de qualitat i resistència adequades per suportar els esforços que es puguin presentar, garantint el no deteriorament dels mateixos sota les tensions mecàniques que des de l'exterior els puguin influir. Ni sota l'acció d'agents químics que procedeixen de l'atmosfera o sòl de les instal·lacions.

Les mides de les arquetes seran de 2,88x1,96x1,7 metres.

4.4. Enllaços i derivacions

Els enllaços que s'hagin de realitzar a la línia es faran a les arquetes de registre, no realitzant-se els mateixos sota cap concepte a l'interior els conductes soterrats.

No s'admetran derivacions en "T". Les derivacions en aquest tipus de línies es realitzaran des de les cel·les de les línies situades a les subestacions o a la estació principal.

4.5. Línia distribuïdora

Aquesta línia és la que parteix del traçat existent de 25 kV i s'uneix amb la estació general que conté els dispositius generals de maniobra i protecció.

Com s'ha dit anteriorment, el conductor estarà soterrat i, per tant, disposarem d'un conductor de 18/30 kV amb aïllament ERP. El conductor es canalitzarà dins tub metàl·lic de 225 mm i haurà de ser capaç de suportar temperatures de fins a 105°C. La línia distribuïdora estarà col·locada dins una rasa tal i com s'ha definit en l'apartat 4.2.

No s'aprofitarà la mateixa canalització de la línia distribuïdora per col·locar altres conductors elèctrics d'altres circuits elèctrics o qualsevol tipus de conducció no elèctrica. Es prestarà especial atenció a no col·locar la línia distribuïdora a prop de fonts de calor (tubs de calefacció, etc.) o per sota de conduccions o elements que produeixin condensacions. En els canvis de direcció que exigirà la curvatura del tub protector, dita curvatura no tindrà un radi inferior a 15 vegades el diàmetre dels cables que es canalitzen, i no implicarà una reducció en la secció del tub protector.

Les condicions de funcionament d'aquest tipus de línia seran de corrent altern amb una tensió de 25.000 V i una intensitat de 50 A. La freqüència de treball serà de 49-51 Hz i, d'acord amb les restriccions imposades per la companyia elèctrica, la secció que requeriran aquests conductors, considerant longitud màxima de 200 metres, serà de $3 \times 50 + T \text{ mm}^2$.

Els valors de caiguda de tensió de les línies descrites anteriorment compleixen segons el que estableix la ITC-BT-40. Per més informació veure Annex A de càlculs elèctrics.

4.6. Derivació general

La línia de derivació general és l'encarregada de interconnectar la estació general amb les subestacions. La longitud màxima d'aquesta línia serà de 12 quilòmetres.

Per al dimensionat d'aquest cable s'ha tingut en compte la col·locació de la estació general al centre del recorregut de la electrolinera de tal manera que la distància

màxima a la subestació més llunyana és de 6 quilòmetres. D'aquesta forma la caiguda de tensió és menor i el cable també.

Com s'ha dit anteriorment, aquesta línia estarà soterrada i, per tant, es disposarà d'un conductor de $3 \times 50 + T \text{ mm}^2$ de 18/30 kV amb aïllament ERP. El conductor es canalitzarà dins tub metàl·lic de 225 mm i haurà de ser capaç de suportar temperatures de fins a 105°C .

La línia distribuïdora estarà col·locada dins una rasa tal i com s'ha definit en l'apartat 4.2. Per qüestions de simplicitat s'ha decidit instal·lar el mateix tipus de cablejat que en la línia distribuïdora.

Es preveurà instal·lar també arquetes cada 100 metres per a possibles tasques de manteniment tal i com s'ha definit en l'apartat 4.3.

4.7. Derivació individual

Aquesta línia és la que realitza la connexió entre les subestacions i els grups de mòduls emissors. La longitud màxima d'aquest tram serà de 200 metres.

En aquest cas els conductors també es canalitzaran com s'ha dit anteriorment, disposant d'un conductor de $4 \times 240 + T \text{ mm}^2$ de 0,6/1 kV amb aïllament XLPE tipus DIX3. El conductor es canalitzarà dins tub metàl·lic de 225 mm i haurà de ser capaç de suportar temperatures de fins a 90°C .

4.8. Línia subestació

Aquest tipus de línia és la que parteix de la subestació i alimenta cadascun dels grups de mòduls emissors repartits pel traçat.

Aquesta connexió es farà amb conductor de $4 \times 240 + T \text{ mm}^2$ de 0,6/1 kV amb aïllament XLPE tipus DIX3, dins tub metàl·lic de 225 mm i haurà de ser capaç de suportar temperatures de fins a 90°C .

L'enllaç entre la línia subestació i els mòduls es farà mitjançant una arqueta segons l'esmentat en l'apartat 4.4.

4.9. Elements de protecció

D'acord a les especificacions de cada una de les línies i tenint en compte les condicions de funcionament de cada una d'elles i dels elements que en elles es troben, per a cada tipus de conductors tindrem unes proteccions determinades. Tot i així, totes i cada una d'elles haurà de complir el plec de condicions elèctric que compona aquest projecte, en el qual s'estableixen les seves propietats així com el nivell de seguretat que han de complir les caixes que els continguin. Els elements de protecció aquí anomenats i que utilitzarem en la instal·lació són les següents.

La línia disposarà d'una protecció que actuarà davant sobrecàrregues i curtcircuits i defectes a terra, fins hi tot en els punts més allunyats de la línia. En tots els casos s'hauran d'adequar les proteccions a l'estructura concreta de la línia per garantir la actuació de la selectivitat de les proteccions.

Per a la protecció contra sobretensions s'utilitzaran interruptors automàtics associats a relés de protecció, instal·lats a la capçalera de la línia o d'aquelles derivacions en les quals, per les seves característiques, sigui necessari. Estaran proveïdes d'un automatisme de reconexió automàtic amb dos cicles de reconexió, un de ràpid i un altre de lent.

En l'extrem de les línies subterrànies existirà un dispositiu de posada a terra dels elements conductors, destinat a situacions de reparació d'averies o treballs especials, amb la finalitat d'evitar possibles accidents originats per l'existència de càrregues capacitatives.

Aquest dispositiu serà un seccionador de posada a terra, tindrà comandament independent per manovella i anirà enclavat mecànicament amb el comandament del seccionador de línia.

D'altra banda les pantalles dels cables estaran connectades a terra, en la connexió de protecció del centre de transformació.

4.10. Comptador

El local per a la centralització de comptadors estarà situat en la estació general. Aquest tindrà lliure accés, estarà ventilat, disposarà d'il·luminació i de desaigua perquè no s'hi produeixin inundacions.

El comptador tindrà una relació de transformació de 25.000/220V i estarà connectat a la cèl·lula de mesura.

El mòdul de comptatge s'instal·larà a la paret del centre de mesura.

Les característiques particulars del sistema de comptatge i protecció general hauran de ser les que determini l'empresa subministradora i hauran d'estar aprovades per la Direcció General d'Energia.

4.11. Caixa general de protecció

En el cas d'optar per vendre l'energia a la xarxa s'instal·larà una CGP a continuació del comptador. La caixa general de protecció CGP és l'encarregada de salvaguardar tota la instal·lació elèctrica d'un possible curtcircuit o punta d'intensitat la qual afectaria a tots els components connectats a la xarxa. Aquesta caixa general de protecció podrà dur tant proteccions tèrmiques com fusibles.

4.12. Posada a terra

La posada a terra de la instal·lació és molt important ja que limita la tensió que es pugui presentar en un moment donat en les masses metàl·liques dels components, assegurant l'actuació de les proteccions i eliminant el risc que suposa el mal funcionament o avaria d'alguns dels equips.

L'objectiu de la posada a terra és limitar la tensió respecte a terra que pot aparèixer en les masses metàl·liques per un defecte d'aïllant (tensió de contacte), i assegurar el funcionament de les proteccions.

Els valors que considerin admissibles per al cos humà són:

- Locals humits: 24 V
- Locals secs: 50 V

La posada a terra consisteix en una unió metàl·lica directa entre determinats elements d'una instal·lació i un elèctrode o grup d'elèctrodes enterrats en el sòl. En aquesta connexió s'aconsegueix que no existeixin diferències de potencial perilloses en el conjunt d'instal·lacions, edifici i superfície pròxima al terreny. La posada a terra permet el pas a terra dels corrents de falta o de descàrregues d'origen atmosfèric.

Parts de la instal·lació de posada a terra:

- Terreny: Absorbeix les descàrregues.
- Preses de terra: Elements d'unió entre terreny i circuit. Estan formats per elèctrodes col·locats en el terreny que s'uneixen, mitjançant una línia d'enllaç amb terra, en els punts de posada a terra (situats normalment en pericons).
- Línia principal de terra: Uneix els punts de posada a terra amb les derivacions necessàries per a la posada a terra de totes les masses.
- Derivacions de les línies principals de terra: Unions entre la línia principal de terra i els conductors de protecció.
- Conductors de protecció: Unió entre les derivacions de la línia principal de terra i les masses, amb la finalitat de protegir contra els contactes indirectes.
- La instal·lació de posada a terra ha complir el que disposa el Reial Decret 1663/2000 (article 12) sobre les condicions de posada a terra en instal·lacions connectades a la xarxa de baixa tensió.
- Totes les masses de la instal·lació estaran connectades a una xarxa de terres independent de la del neutre de l'empresa distribuïdora, d'acord amb el Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió, així com de les masses de la resta del subministrament.
- La connexió a terra es farà a través de piquetes de coure. La configuració de les mateixes ha de ser rodona i d'alta resistència, assegurant una màxima rigidesa per facilitar la seva introducció en el terreny. Cal tractar d'evitar que la pica es doblegui durant la seva col·locació.

Es realitzarà una instal·lació de posada a terra constituïda per un cable de coure nu soterrat de 35mm² de secció i piquetes de 2m de longitud i 14mm de diàmetre com a mínim.

Per a la connexió dels dispositius al circuit de posada a terra, serà necessari disposar de borns o elements de connexió que garanteixin una unió perfecta, tenint en compte els esforços dinàmics i tèrmics que es produeixen en cas de curtcircuit.

Per a la posada a terra de la instal·lació se seguirà el que assenyala les instruccions ITC-BT-18.

La instal·lació comptarà amb una posada a terra per tal de limitar la diferència de tensió que es pugui presentar en les masses metàl·liques instal·lades i el terra, i assegurar el funcionament de les proteccions contra contactes directes i indirectes.

Per les derivacions de la línia principal de terra es complirà la relació següent:

Secció del conductor de fase (mm ²)	Secció del conductor de protecció (mm ²)
$S \leq 16$	S(*)
$16 < S \leq 35$	16
$35 < S$	S/2

Taula 6. Dimensions conductors de terra.

(*) Amb un mínim de:

- 2,5mm² si els conductors de protecció no formen part de la canalització d'alimentació i tenen una protecció mecànica.
- 4 mm² si els conductors de protecció no formen part de la canalització i no tenen una protecció mecànica.

Es connectaran a terra totes les parts metàl·liques accessibles de la instal·lació que puguin presentar en un moment donat una diferència de tensió respecte a terra: armaris metàl·lics, tanques, etc.

4.13. Unitat de control

Com s'ha pogut observar en els apartats anteriors, el sistema dissenyat està compost per una gran varietat d'elements, tots ells indispensables i amb una funció concreta a desenvolupar. La part més important del sistema, i sense la qual aquest no podria funcionar, és la sincronització entre els mòduls emissors i el receptor en el vehicle, s'han d'activar al mateix moment en què el vehicle estan a 0,5 metres de distància i desactivar-se quan s'ha allunyat la mateixa distància.

És evident, doncs, que l'avaria o manca d'alguns d'aquests elements pot afectar al bon funcionament de la instal·lació, fet que comportaria una despesa no desitjable. També podria suposar un perill per a la seguretat de les persones o per a la mateixa instal·lació.

Per això es preveurà la instal·lació d'un autòmat programable per efectuar el control i supervisió del sistema de recàrrega i evitar, així, un possible mal funcionament que afectés negativament a la instal·lació.

La unitat de control rebrà informació de la velocitat de cada vehicle entrant a cada tram de 100 metres a través de dos sensors inductius instal·lats en l'inici d'aquest tram. L'autòmat enviarà les ordres d'activació i parada, a través de les sortides. La transmissió es farà mitjançant la tecnologia Power Line, l'enviament de dades a través de la mateixa línia elèctrica. L'autòmat programable superposa un senyal modulad d'alta freqüència a sobre el senyal de corrent altern estàndard de 50 Hz. Cada contactor instal·lat a cada grup de mòduls estarà connectat a un descodificador encarregat de llegir i transmetre a aquest la senyal provinent de l'autòmat.

Quan l'autòmat detecti que el sistema està al límit de la seva capacitat no permetrà l'activació de cap més altre grup de mòduls. També es preveu que desconnecti tots els mòduls emissors quan així ho requereixi el cap de manteniment o en algun cas d'emergència.

L'autòmat a instal·lar serà un OMRON CP1E que ens proporciona un nombre d'entrades i sortides suficient per controlar el sistema projectat, i a més permet ésser augmentat per a futures ampliacions. Permet la lectura d'impulsos generats pels sensor fotoelèctrics Datalogic S51, i a més també incorporen mòduls mòdem PSoC 5LP Powerline Communication Solution de CYPRESS que permetran efectuar la comunicació fins al mòdul receptor de la mateixa marca a través de la xarxa elèctrica instal·lada. Aquest mòdul receptor descodificarà les dades transmeses i accionarà el contactor de 4P 400V i 100A Merlin Gerin quan sigui necessari.

Amb tot això es pretén haver descrit els requisits bàsics pel control intel·ligent de la instal·lació projectada quedant, com a objecte d'un altre projecte, el disseny i la definició més acurada de la solució adoptada.

5. EXPLOTACIÓ DE LA INSTAL·LACIÓ

5.1. Facturació pel servei

Els beneficis de la instal·lació de la electrolinera vindran pel pagament per part dels usuaris de la quantitat d'energia que aquest han consumit per carregar les bateries dels seus vehicles.

La identificació de cada usuari es farà de forma similar al sistema Via-T emprat per identificar els vehicles en els peatges de l'autopista. Cada vehicle estarà vinculat a les dades bancàries del seu propietari a través d'un aparell emissor, que les facilitarà al receptor en el moment d'entrada a carril de recàrrega. D'aquesta forma el sistema tindrà identificat els vehicles que hi estan circulant.

Per tal de facturar l'import exacte del seu consum, s'utilitzaran els mateixos PLC que controlen l'activació de cada mòdul emissor i que estan a cada subestació transformadora. Aquest controlador programable comptarà la quantitat de trams de 100 metres que a recorregut cada vehicle. D'aquesta forma, sabent que en cada tram activat s'han transmès 0,0485 kWh es pot calcular l'energia subministrada al vehicle.

$$E = 0,0485 \cdot T \quad (\text{Eq. 13})$$

Essent:

E: Energia subministrada en kWh.

T: Trams de 100 metres recorreguts.

Un vehicle pot abandonar el carril de recàrrega abans de finalitzar el tram de la electrolinera. Quan això passi, el PLC no detectarà el vehicle en l'entrada del següent tram de 100 metres i per tant sabrà quan ha abandonat el procés de recàrrega.

El cost final per l'usuari serà la quantitat de trams que haurà activat el sistema multiplicat pel cost de la energia, que actualment és de 0,145578€/kWh segons dades del BOE 100, 26 abril de 2012.

S'ha considerat que el cost que pagarà cada usuari sigui un 10% superior al preu que pagaria a casa seva per recarregar el seu vehicle, ja que aquest servei li aporta importants avantatges i comoditats mencionades anteriorment.

$$Cost = 0,0485 \cdot T \cdot 0,1601358 = 0,007767 \cdot T \quad (\text{Eq. 14})$$

En resum, per a un vehicle que empri tot el recorregut per recarregar la seva bateria li suposarà un cost de 0,932 €.

5.2. Control dels vehicles admesos al sistema

S'ha calculat la instal·lació per un màxim de 60 vehicles recarregant les seves bateries simultàniament.

Quan el nombre de vehicles en el sistema superi el límit establert, és possible que es malmetin alguns components i conseqüentment faci caure el sistema. Per evitar-ho, es programarà el PLC per tal que no activi cap contactor de cap mòdul emissor i que per tant el vehicle que entri no se li transmeti energia.

Per avisar als conductors de l'estat l'electrolinera està previst instal·lar panells informatius.

5.3. Seguiment de l'avanç del vehicle

Tal i com s'ha dit amb anterioritat, el grup de PLC instal·lats en cada subestació s'encarrega de l'activació de cada mòdul emissor.

Aquesta activació és molt important que es faci de tal manera que els mòduls emissors funcionin just quan el vehicle es troba 0,5 metres abans i després del grup de mòduls, pel fet que s'ha mencionat en l'apartat 2.4.6 que diu que la transferència d'energia admet una variació de 50 cm per cada costat. Només d'aquesta forma s'evitarà tenir connectat tot el sistema de mòduls emissors i malbaratar energia, ja que, malgrat el consum d'un mòdul emissor sigui molt baix quan no transmet al receptor, representa una despesa molt elevada si es té en compte la quantitat important d'emissors instal·lats.

L'activació de cada mòdul emissor es farà a partir del moment en què els dos sensors inductius de l'entrada de cada tram de 100 metres detecten un vehicle. Quan els dos sensors han detectat la presència d'un vehicle, el PLC emmagatzema aquells dos instants de temps, i sabent la distància a la qual s'han instal·lat els sensors el

controlador programable és capaç de determinar la velocitat del vehicle. Sabent la velocitat és possible determinar el temps d'activació de cada grup de mòduls emissors.

Com que la velocitat a la qual viatja un vehicle no és del tot constant i a més pot variar depenent de les necessitats del conductor i de la capacitat de la bateria del vehicle, s'ha previst que cada tram de 100 metres hi hagi uns sensors inductius que informin al PLC de la nova velocitat del vehicle si aquesta ha canviat. D'aquesta forma es garanteix la sincronització entre la velocitat de l'emissor i el receptor.

5.4. Trànsit de vehicles

Segons dades del Ministeri de Foment, l'any 2011 van circular, pel tram La Jonquera-Girona de l'autopista AP-7, una mitjana de 41.656 vehicles lleugers diaris.

Amb aquestes dades, sabent que el nostre sistema de recàrrega pot absorbir 60 vehicles cada 9 minuts, i estimant que durant la nit aquesta xifra representa una quarta part, es calcula que durant un dia poden utilitzar aquest sistema 6900 vehicles, un 16,56% del total del trànsit diari.

6. MANTENIMENT DE LA INSTAL·LACIÓ

El manteniment d'una instal·lació com la dissenyada és relativament baix. Aquest es redueix pràcticament a la revisió de l'estat de l'asfalt, la neteja periòdica dels mòduls emissors, revisió de les connexions i dels elements de seguretat. En algunes situacions pot ser necessària la desconnexió del sistema de la xarxa, com ara un accident o una avaria tant d'un vehicle com de la pròpia instal·lació, pel que serà necessari disposar de personal de manteniment. Per garantir una alta productivitat de la instal·lació, és essencial reduir els períodes d'aturada del sistema, per aquesta raó serà necessària una bona supervisió del sistema.

Es realitzarà una revisió exhaustiva una vegada a l'any, en la qual es comprovaran tots els elements de la instal·lació. La instal·lació s'aïllarà de la xarxa general de distribució i es procedirà a realitzar les anàlisis corresponents i a la realització del manteniment.

Es comprovarà també l'estat de tots els conductors de la instal·lació, i tots aquells que estiguin danyats o presentin un defecte de forma es substituiran per cables nous. També es repassarà que tots els elements de subjecció dels cables estiguin en bon estat i se'n procedirà a la substitució en cas d'estar danyats.

Per últim, pel que fa el manteniment dels mòduls emissors de vitricitat, aquests requereixen un escàs manteniment per la seva pròpia configuració, ja que no tenen elements mòbils i el circuit interior i les soldadures de connexió estan aïllades de l'ambient exterior per capes de material protector. És per això que el manteniment dels emissors es reduirà a la comprovació del correcte funcionament.

6.1. Inspecció visual

La inspecció visual dels mòduls emissors té per objectiu detectar possibles danys com oxidacions dels circuits i soldadures o en altres elements de la instal·lació. Normalment són degudes a l'entrada d'humitat en el mòdul durant la instal·lació o ús.

Es realitzarà, per part d'un operari experimentat, la revisió setmanal de la instal·lació per comprovar el seu correcte funcionament.

En cas que l'operari detectés alguna anomalia i el sistema de recàrrega no s'hagués desconnectat de la xarxa, aquest desconnectarà el tram on hi hagi l'avaría, obrirà el seccionador i ho farà saber al responsable de manteniment per efectuar la seva reparació.

6.2. Control connexions elèctriques i cablejat

Cada 6 mesos es realitzarà un manteniment preventiu efectuant la comprovació de les subjeccions i estat dels terminals dels cables de connexió dels mòduls emissors.

També es faran proves anuals de l'estat de l'aïllament de la línia de mitja tensió que abasteix als mòduls emissors per tal d'assegurar-ne la integritat. Es faran proves de descarregues parcials, de càlcul de la tangent de delta i d'estat de la pantalla. D'aquesta forma es tindrà un control sobre l'envelliment de la instal·lació i s'evitaran fallades inesperades del sistema.

6.3. Comprovació del tancament de la caixa de terminals

En cas d'observar danys de sallat, es procedirà a la substitució dels elements afectats i a la neteja dels terminals. És important mantenir el sallat de la caixa de terminals, utilitzant juntes noves o un sallat de silicona.

Control de les connexions elèctriques i del cablejat dels mòduls. Altres de les qüestions de fons serà la comprovació dels elements de protecció elèctrica per a la seguretat personal i el funcionament de la instal·lació. En general, es revisaran tots els equips, cablejat i connexions.

7. ESTUDI ECONÒMIC

Per tal que aquest projecte sigui realitzable, és de vital importància garantir la seva viabilitat econòmica, ja que sense aquest requisit és gairebé impossible que els inversors vulguin participar-hi. És per això que s'ha dut a terme un estudi econòmic.

7.1. Cost realització del projecte

Tal i com es pot veure en el document Pressupost, les partides referents a la construcció total d'aquest sistema de recàrrega suposen un cost total de 9.102.145,27€.

7.2. Cost manteniment del projecte

Pel que fa al cost de manteniment de la instal·lació, s'espera que sigui igual al d'una instal·lació de transport d'energia elèctrica subterrània de Mitja Tensió, i que representi el 135,22 milers d'€ per quilòmetre de longitud segons el monogràfic Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya de la Generalitat de Catalunya. Aquest valor representarà 1.622.640 €.

7.3. Beneficis

Tenint en compte que el rendiment dels mòduls emissors és del 97% i que les pèrdues de transmissió en la línia de mitja tensió representen el 3,5% de la potència subministrada, la potència neta que obtindríem seria:

$$P_g = (P_b \cdot \eta_i) - P_b \quad (\text{Eq. 15})$$

Essent:

P_g : Potència neta subministrada per la instal·lació en W.

P_b : Potència bruta subministrada als mòduls emissors en W.

η_i : Rendiment transferència d'energia en tant per cent.

P_b : Potència consumida per la línia de transmissió en W.

Substituint els valors anteriors s'obté una potència neta de 2,244MW. Se sap també que durant el dia l'afluència és de 400 vehicles/h i durant la nit de 100 vehicles/h. En un dia s'estima que per la electrolinera passin 6900 vehicles.

Prenent com a cost per l'usuari el mencionat el l'apartat 5.1, i establint que tots els usuaris facin ús de tot el sistema de recàrrega obtenim que cada conductor pagarà 0,932€ per recàrrega. Això, en un dia representen uns ingressos de 6.430,8€ i en un any 2.347.242€.

Per calcular el benefici net, caldrà restar d'aquest valor el preu que s'ha pagat per portar l'energia fins a aquest punt. Aquest preu pot variar segons la companyia a la qual es contracta, però s'ha escollit la que subministra a un preu més baix en aquesta zona. El preu que es pagarà per l'energia serà de 0,038608 €/kWh que representarà un cost de 443.992 € per any.

Així doncs, el benefici net anual serà de 1.903.250€.

Utilitzant aquest valor i el cost total de la instal·lació podem calcular en quant temps es s'amortitzarà la instal·lació i quin benefici pot donar al llarg de la seva vida útil.

$$t_a = \frac{C_i}{B} \quad (\text{Eq. 16})$$

Essent:

ta: Temps d'amortització de la instal·lació en anys.

Ci: Cost total de la instal·lació en euros.

B: Benefici anual de la instal·lació en euros.

Utilitzant les dades anteriors obtenim un temps d'amortització de 5,63 anys. Amb això podem calcular el benefici total esperat pel temps de vida.

$$B_t = t_v(B - C_m) - C_i \quad (\text{Eq. 17})$$

Essent:

Bt: Benefici total a percebre al final de la vida útil de la instal·lació en euros.

tv: Temps de vida útil esperada de la instal·lació en anys.

Ci: Cost total instal·lació en euros.

Cm: Cost manteniment anual en euros.

B: Benefici anual en euros.

Considerant una vida útil de la instal·lació de 20 anys s'obté un benefici total de 27.340.214,73 euros. Per tant, la instal·lació es començaria a amortitzar als 5,63 anys i s'obtindria un benefici total, suposant que la instal·lació funcionés a règim nominal al llarg de la seva vida útil, de 27.340.214,73 euros.

8. ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT

8.1. Objecte de l'Estudi

El present estudi pretén justificar, d'acord amb la normativa vigent, les normes de seguretat aplicables durant l'execució de la instal·lació que és objecte d'aquest projecte. Per cada etapa de l'obra, s'identificaran els riscos laborals que puguin ser evitats, indicant les mesures necessàries per eliminar-los. Pels riscos no inclosos a l'apartat anterior, especificant les mesures tècniques destinades a controlar i reduir la seva perillositat.

En base a l'article 7, i en aplicació d'aquest Estudi de Seguretat i Salut, el contractista haurà d'elaborar un Pla de Seguretat i Salut en el qual s'analitzin, estudiïn, desenvolupin i complementin les previsions contingudes en el present document.

El Pla de Seguretat i Salut haurà de ser aprovat abans de l'inici de les obres pel Coordinador de Seguretat i Salut, o quan no existeixi el Coordinador, per la Direcció Facultativa.

Es recorda l'obligatorietat de l'existència d'un Llibre d'Incidències en cada centre de treball per fer un seguiment del Pla. Qualsevol anotació que s'hi realitzi haurà de posar-se en coneixement de la Inspecció de Treball i Seguretat Social en un termini de 24 hores.

8.2. Justificació de l'estudi de seguretat i salut

D'acord amb l'article 4 del Reial Decret 1627/1997, sobre disposicions mínimes de seguretat i salut, s'haurà de realitzar un estudi de seguretat i salut en la memòria si es dóna algun d'aquest requisits:

- Que el pressupost d'execució per contractació inclòs a la memòria sigui igual o superior a 450.000,00€. En aquest cas, el pressupost d'execució de la obra ascendeix a la quantitat de: PEM = 9.102.145,27€.
- Que la duració estimada de l'obra sigui superior a 30 dies laborals, utilitzant-se en algun moment més de 20 persones simultàniament. La duració estimada d'aquesta obra és de 10 setmanes laborals i no està previst la presència simultània a l'obra de més de 20 persones.

- Que el volum de mà d'obra estimat, entenent com a tal la suma dels dies de treball del total de treballadors a l'obra sigui superior a 500. La influència de la mà d'obra en el cost total d'aquesta s'estima al voltant al 40% i tenint en compte que el cost mitjà d'un operari és de 120 €/ dia, obtenim un total de:

$$N = \frac{0,4 \cdot PEM}{120} \quad (\text{Eq. 18})$$

Essent:

N: Número d'operaris.

PEM: Pressupost d'execució d'obra en euros.

El número d'operaris que s'obté en la fórmula és de 3034.

Així doncs, s'ha realitzat l'estudi de seguretat i salut present en l'Annex C, en compliment a l'apartat 2 del mateix l'article 4 del RD 1627/1997.

9. IMPACTE MEDIAMBIENTAL

La recàrrega de vehicles elèctrics a partir de vitricitat permet conferir més autonomia a aquest tipus de vehicles i estalviar un temps valuós en la seva recàrrega. D'aquesta forma es resol un dels problemes més importants per la seva implantació final i dona un últim impuls de cares a evitar les emissions perjudicials del vehicle convencional al medi ambient. En termes mediambientals i ecològics, aquesta tecnologia és avantatjosa en aspectes com:

- Permet disminuir les dimensions de les bateries actuals.
- Es totalment silenciosa i no produeix vibracions.
- No necessita manteniment.
- No posseeix elements mòbils.
- Pot funcionar en qualsevol posició.
- El temps de vida útil és relativament gran (20-25 anys).
- És reciclable el 100%.
- El seu procés de fabricació és barat i no contaminant.
- Rendiment de transmissió del 97%.

Tanmateix, en els últims anys s'han fet moltes millores pel que fa a capacitats, reciclatge, durabilitat i temps de càrrega de les bateries, fet que afirma el bon pronòstic que té aquesta tecnologia en el futur.

10. RESUM DEL PRESSUPOST

El pressupost total s'ha fet partint dels elements necessaris per a la construcció i posterior posada en funcionament del sistema de recàrrega corresponent al projecte de disseny d'un sistema de recàrrega d'energia elèctrica a partir de witricitat mitjançant camps de ressonància magnètica i té un import de nou milions cent dos mil cent quaranta-cinc euros amb vint-i-set cèntims (9.102.145,27 €).

11. CONCLUSIONS I FUTURES MILLORES

Amb el que s'ha projectat es pretén haver descrit de forma clara i concisa les característiques i l'abast del projecte i haver complert amb els objectius inicials en el Disseny d'un sistema de recàrrega dinàmica de vehicles elèctrics mitjançant witricitat en camps de ressonància magnètica.

L'estudi que s'ha dut a terme per realitzar el present projecte ha demostrat que la utilització de la tecnologia de la witricitat és factible i alhora rendible a curt termini. El sistema dissenyat permet recarregar la bateria d'un vehicle completament elèctric una mitjana de 29,616% i proporcionar-li una autonomia de 46,88 quilòmetres.

Malgrat s'hagi assolit l'objectiu de dissenyar un sistema de recàrrega prou efectiu com per aconseguir recórrer 40 quilòmetres com a mínim, aquesta distància encara no és suficient com per subministrar la autonomia desitjada pel vehicle elèctric.

Tot i això, es preveu que en els propers anys s'obtinguin mòduls de witricitat de potència més elevada, fet que incrementarà la seva utilització en aplicacions de més envergadura. La millora en la qualitat de les bateries els darrers anys i els avenços fets en el camp de la witricitat els últims 5 anys fan pensar que queda molt camp per recórrer i que la viabilitat d'aquest projecte pugui ser molt superior els propers anys.

També s'ha vist que la utilització d'aquesta tecnologia ajuda a reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle ja que l'energia elèctrica que subministra l'electrolinera pot ser molt flexible, i provenir de fonts energètiques renovables.

Pel que fa al preu ofert als clients, es creu que és l'adequat i un 8% més barat en relació als preus que s'estan aplicant en països com EUA i Anglaterra on la implantació de xarxes de punts de recàrrega està més avançada.

Es conclou, doncs, que l'aplicació és energètica i econòmicament viable. Això ens permet preveure un horitzó d'amortització de la instal·lació d'entre 5 i 6 anys i uns beneficis a percebre al final de la seva vida mitja útil de més de 27 milions d'euros. També s'ha acomplert l'objectiu inicial de donar impuls al vehicle elèctric, i dissenyar un sistema per salvar la problemàtica actual de la baixa autonomia i el llarg temps de recàrrega.

Albert Massaguer Colomer

Girona, 28 de gener de 2013

12. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El conjunt del projecte està compost i disposat de la següent forma:

Document número 1: Memòria i Annexos

Document número 2: Plànols

Document número 3: Plec de condicions

Document número 4: Amidaments

Document número 5: Pressupost

13. BIBLIOGRAFIA

Fernández, R. El crepúsculo de la era trágica del petróleo. Ecologistas en Acción. Virus editorial. Barcelona. 2008.

EUROPEAN COMMISSION. Standardisation mandatory to CEN, CENELEC and ETSI concerning the charging of electric vehicles. Brussel·les 2010.

REGLAMENT TÈCNIC DE LÍNIES ELÈCTRIQUES AÈRIES D'ALTA TENSIÓ (RT-LEAT) (Decret 2151/1968 de 28.11.68, BOE núm. 311 de 27.12.68 i rectificacions en BOE 8.3.69)

INSTRUCCIONS TÈCNIQUES COMPLEMENTARIES DEL RAT (ITC MIE-RAT), establertes per OM de 06.07.84, BOE núm. 183 de 01.08.84, i OM de 18.10.84, BOE núm. 256 de 25.10.84

REGLAMENT ELECTROTÈCNIC DE BAIXA TENSIÓ. Decret 842/2002 de 2 d'agost pel que s'aprova el Reglament electrotècnic de Baixa Tensió.

REAL DECRET (RD) 1955/2000, de 1 de desembre, que regula les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'instal·lacions d'energia elèctrica (BOE 310 de 27.12.00)

Ordre de 12 de febrer de 2001, de la Conselleria d'Indústria i Comerç

Llei de prevenció de riscos laborals (LPRL), (Llei 31/1995, de 8 de novembre de 1995, BOE 10.11.1995)

RD 614/2001, 8 de juny, "Sobre disposicions mínimes per a la protecció de la salut i seguretat en el treball enfront el risc elèctric"

Ordenança general de seguretat i higiene en el treball (OGSHT), (Ordre del 09.03.71, BOE del 16 i 17.03.71)

RS Amidata. Catàleg 2009/2010. Madrid. 2010.

IDAE. Plec de Condicions Tècniques d'Instal·lacions Connectades a la Xarxa. Difusió. IDAE Madrid. 2002.

REBT. Guia Tècnica d'aplicació al Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió. Instruccions tècniques segons el Reial Decret 842/2002, de 2 agost de 2002.

A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fisher, and M. Soljačić, *Science* 317, 83 (2007)

André Kurs, Aristeidis Karalis, Robert Moffatt, J. D. Joannopoulos, Peter Fisher, Marin Soljačić. *Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances (Science Express 2007b)*

A. Karalis, J. Joannopoulos, and M. Soljačić, *Ann. Phys.* 323, 34 (2008).

C. Zhu, K. Liu, C. Yu, R. Ma, and H. Cheng, in *Proceedings of the IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (IEEE, Harbin, China 2008)*, pp. 1–4.

R. E. Hamam, A. Karalis, J. Joannopoulos, and M. Soljačić, *Ann. Phys.* n324, 1783 (2009).

A. Ramrakhyani, S. Mirabbasi, and M. Chiao, *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.* 5, 48 (2011).

Xiaofang Yu, Sunil Sandhu, Sven Beiker, Richard Sassoon, and Shanhui Fan. *Wireless energy transfer with the presence of metallic planes. Stanford University (2011)*

Telsa, N. United States Patent 1,119,732. *Apparatus for transmitting electrical energy. (Nova York 1914)*

IVECAT. *Estratègia d'impuls del vehicle elèctric a Catalunya. (2010)*

ICAEN. Estudios monográficos nº 13. Líneas eléctricas aéreas i subterráneas a Catalunya. Generalitat de Catalunya. (2010)

Instrucción de Carreteras. Norma 8.1-IC. Señalización vertical. Ministerio de Foment (1999)

Datos mensuales de tráfico en las autopistas de peaje de la RCE. Ministerio de Foment (2011)

ANNEX A

A.1. Objecte

El present annex pretén explicar quins són els components principals que es poden trobar en un vehicle elèctric. Aquests components són els que s'utilitzaran per dimensionar el sistema de recàrrega elèctrica.

També es presentaran els models de vehicles estudiats per a la viabilitat del sistema.

A.2. Vehicle elèctric

Tal i com s'ha explicat en l'objecte del projecte, el disseny del sistema de recàrrega dinàmica a partir de witricitat s'emprarà per subministrar energia a les bateries d'un vehicle elèctric pur (BEV) o híbrid endollable (PHEV). Existeix una tercera tipologia de vehicle elèctric anomenat híbrid (HEV), però no s'estudiarà ja que obté la seva energia a partir del combustible que porta emmagatzemat i no és recarregable.

A.2.1. Característiques

Per a aquest estudi, encara que aquests tipus de vehicles puguin ser tan trens, com camions, com avions, vaixells o motocicletes, s'entendrà com a vehicle elèctric un cotxe del tipus utilitari de 5 ocupants propulsat únicament per energia elèctrica. En particular, s'ha fet un estudi per a 7 tipus de vehicles de diferents fabricants i de diferents gammes per tal de estudiar-ne la viabilitat.

Els fabricants escollits són:

Fabricant	Model	Tipus
Toyota	Prius	Híbrid
BMW	MINI E	Full electric
Mitsubishi	i-Miev	Full electric
Citröen	C-Zero	Full electric
Renault	Fluence ZE	Full electric
Nissan	Leaf	Full electric
Tesla	S 40/60	Full electric

Taula 1. Relació de fabricants escollits en aquest projecte

Per tal d'exemplificar els components i càlculs que es duran a terme tot seguit en aquest document, s'ha partit del model S40/60 del fabricant Tesla.

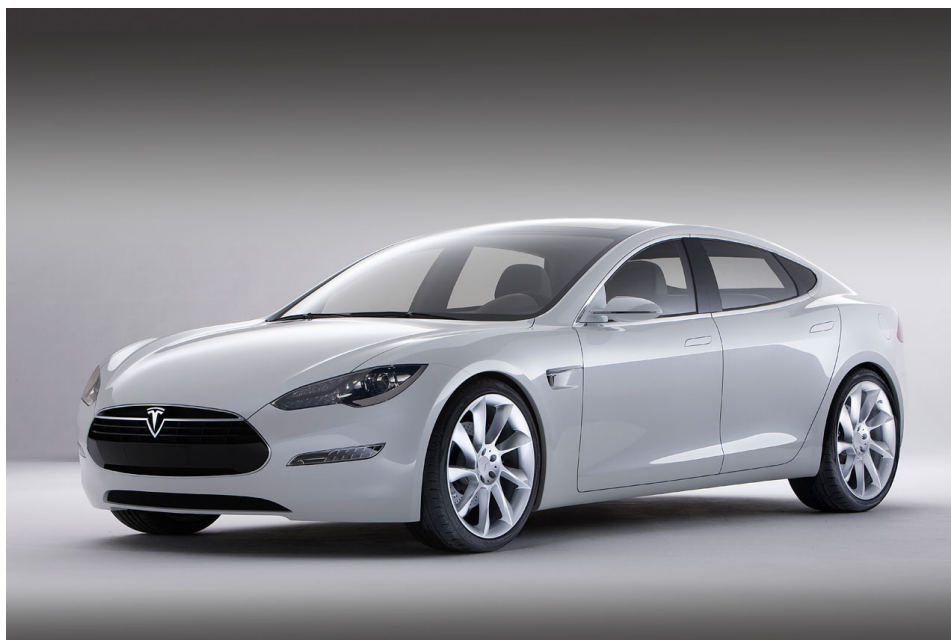


Figura 1. Vehicle elèctric Tesla model S

Aquests tipus de vehicles es caracteritzen per ser propulsats a partir d'electricitat en comptes de fuels fòssils no renovables. Com s'ha explicat en l'inici d'aquest document,

el seu rendiment és molt superior als vehicles de combustió actuals, hem de pensar que un motor elèctric té un rendiment que supera el 90% envers el 30% d'un de combustió, i la seva font d'energia, malgrat depengui del perfil energètic del país, pot provenir en gran part de fonts renovables, fet que permet reduir les emissions de diòxid de carboni, òxid de nitrogen, diòxid de sofre, monòxid de carboni i compostos orgànics volàtils, tots ells altament perjudicials pel medi ambient i per les persones.

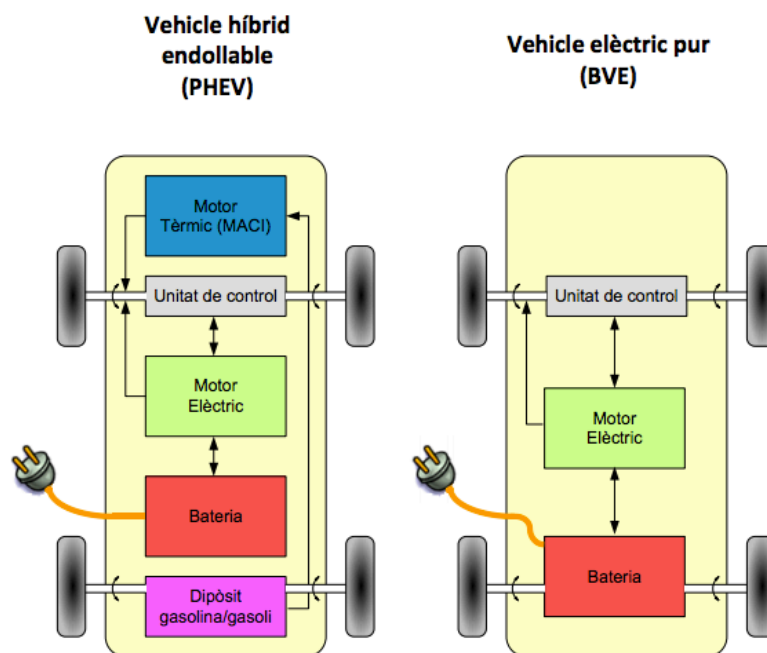


Figura 2. Tipologies de vehicles elèctrics. (IVECAT, 2010)

El vehicle elèctric pur està compost per un motor elèctric que genera el moviment de l'eix tractor a partir de l'energia elèctrica que prèviament s'ha emmagatzemat en la bateria.

A.2.2. Motor elèctric

El tipus de motor que equipa la marca Tesla al model S és del tipus altern trifàsic inductiu de 60 kWh que transmet tracció a les rodes posteriors. La tensió a la qual treballa és de 380 VAC, el que es tradueix en 175 kW de potència (235 cv) i un parell de 420 Nm. Aquest tipus de motor es caracteritza per tenir un rendiment del 92% i refrigerat-se per aire.

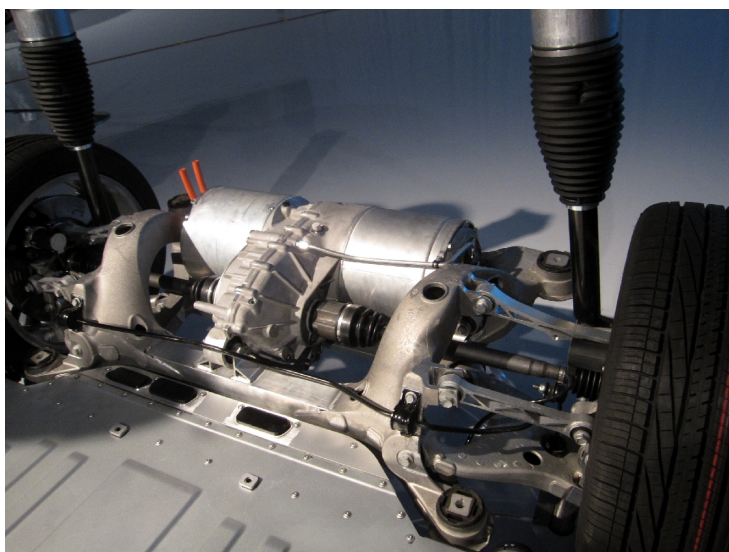


Figura 3. Motor d'inducció del Tesla S

El motor és alimentat pel corrent subministrat per la bateria. Abans però, aquest corrent es transforma a corrent altern mitjançant un inversor. Tots aquests elements ja són incorporats al vehicle en la seva fase de fabricació, és per això que no caldrà fer-ne ni el càlcul ni el dimensionat.

A.2.3. Bateria

El tipus de font d'energia elèctrica que incorpora Tesla al seu model S és una bateria de 60 kWh del tipus Li-ion formada per unes 6000 piles cilíndriques de 3,6V i 3,07Ah cadascuna, model NCR18650A de la marca Panasonic.



Figura 4. Bateria de Li-ion model NCR18650A de Panasonic

L'assemblatge es du a terme directament a la fàbrica de Panasonic i configurant les connexions en sèrie o paral·lel s'aconsegueix que la bateria pugui subministrar 125 Ah a un voltatge nominal de 480 V.



Figura 5. Assemblatge de la bateria del Tesla S

A.2.4. consum i autonomia

El consum del Tesla S segons el fabricant és de 15,79 kWh per cada 100 quilòmetres recorreguts. Si comparem aquest valor amb el consum d'altres vehicles com el Nissan Leaf o el Renault Fluence queda clar que el consum és considerablement major al dels altres fabricants. Malgrat això, l'autonomia del Tesla S representa més del doble envers el següent competidor, pel fet que la capacitat de la bateria que incorpora és més gran.

També és interessant remarcar que la potència específica del tipus de bateria Li-ion de Panasonic és molt alta.

Les característiques bàsiques de cada model estudiat són les següents:

Model	Potència motor (kW)	Capacitat bateria (kWh)	Autonomia (km)	Consum (kWh Bateria /100 km)
Toyota Prius	61	1,3 (201,6V a 6,5Ah)	25	5,2
MINI E (BMW)	150	35 (380V a 92Ah)	154	22,73
Mitsubishi i-Miev	47	16,5 (330V a 50Ah)	130	12,69
Citröen C-Zero	47	16,5 (330V a 50Ah)	130	12,69
Renault Fluence ZE	70	26 (398V a 65Ah)	160	13,75
Nissan Leaf	80	24 (480V a 50Ah)	175	13,71
Tesla S 40/60	175	60 (480V a 125Ah)	380	15,79

Taula 2. Característiques elèctriques dels principals fabricants de VE

ANNEX B

B.1. Objecte

L'objecte d'aquest annex és dimensionar les seccions de les línies elèctriques a instal·lar en el sistema de recàrrega dissenyat. A més es dimensionarà també la posada a terra de la instal·lació.

B.2. Càlculs Elèctrics

El subministrament d'energia elèctrica es produeix a través d'una línia subterrània de mitja tensió de 25 kV. Aquesta energia es transmetrà fins a 6 quilòmetres de distància per tal d'alimentar els mòduls emissors de witricitat.

B.2.1. Dades de partida. Característiques de les línies de mitja tensió

- Tipus de corrent (corrent altern - trifàsic / monofàsic)
- Tensió nominal de la línia, V , en volts
- Temps de curtcircuit, t , en segons
- Caiguda de tensió, ΔV , en %
- Calor específic del conductor, C_p
- Conductivitat, c
- Densitat del conductor, ρ , kg/cm^3
- Potència màxima prevista, P , en Watts
- Potència aparent, S , en kVA
- Potència de curtcircuit a la xarxa, P_{cc} , en kVA
- Factor activa / reactiva ($\cos \varphi$)
- Tipus d'instal·lació
- Tipus de cable (conductor i aïllament)
- Intensitat màxima admissible
- Longitud de la línia, L , en m
- Secció del cable, s en mm^2
- Conductivitat del cable, c , en $\text{siemens} \cdot \text{m/mm}^2$
- Coeficient de la temperatura de la resistència, a
- Increment de temperatura respecte 20°C , ΔT

- Resistència per fase, R , en Ω
- Resistència del conductor, R_l , en Ω/km
- Reactància per fase, X , en Ω

B.2.2. Fórmules utilitzades mitja tensió

	Línia subterrània	
Corrent, I (A)	$I = \frac{S}{1,73U}$	(Eq. 1)
Corrent de curtcircuit III, I_{cc} (A)	$I_{cc} = \frac{P_{cc}}{1,73U}$	(Eq. 2)
	$S = \frac{I_{cc}vt}{K}$	(Eq. 3)
Resistència de línia, $R(\Omega)$	$R_{20^{\circ}\text{C}} = \frac{L}{cs}$	(Eq. 4)
	$R = R_{20^{\circ}\text{C}}(1 + a\Delta T)$	(Eq. 5)
Densitat de corrent, d ($\frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$)	$d = \frac{I}{S}$	(Eq. 6)
Caiguda de tensió, ΔV (%)	$\Delta V = 1,73I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$	(Eq. 7)
Sol·licitud electrodinàmica, N (Hz)	$N = C \frac{a}{L^2}$	(Eq. 8)
Pèrdues de potència, ΔP (W)	$\Delta P = 3R_l I^2$	(Eq. 9)
Límit corrent de curtcircuit amb el temps, I (A)	$E = tR_l I^2$	(Eq. 10)
	$\Delta T = \frac{E}{mC_p}$	(Eq. 11)
	$I = \frac{KS}{\sqrt{t}}$	(Eq. 12)
	$K = \sqrt{\rho C_p c \Delta T}$	(Eq. 13)
Intensitat curtcircuit pantalla, I (A)	$I = \frac{KS}{\sqrt{t}}$	(Eq. 14)

B.2.3. Resultats

B.2.3.1 Comprovació del cable per intensitat màxima

La intensitat de servei màxima a transportar pels conductors, ve donada per la Eq. 1. Si tenim en compte la intensitat màxima que suporta el cable HEPRZ1 Al H25 per a una instal·lació soterrada de 6 quilòmetres és de 345 A.

Amb aquesta dada es pot comprovar per la potència màxima a transportar per la línia, que el valor màxim de la intensitat de la línia és 50 A, i que és inferior a la màxima suportada pel cable de 345 A.

B.2.3.2 Comprovació del cable per corrent de curtcircuit

Pel que fa al càlcul de la secció mínima necessària per intensitat de curtcircuit, primerament es calcula la intensitat de curtcircuit amb l'Eq. 2, que en aquest cas és de 4,7 kA. Tot seguit substituint aquest valor a la Eq. 3 es troba que la secció mínima és de 47 mm², inferior a la instal·lada de 50 mm².

Les equacions Eq. 4 i Eq. 5 permeten calcular els paràmetres de la línia. La potència de curtcircuit utilitzada és de 200MVA.

B.2.3.3 Comprovació del cable per densitat de corrent

Per fer la comprovació del dimensionat de l'embarat, s'usa el terme densitat de corrent, que es calcula a partir de la Eq. 6. D'aquest càlcul s'obté un valor de 2,66 A/mm², un valor inferior al que marca el Reglament electrotècnic de Baixa Tensió (MIE_BT 04-2).

B.2.3.4 Comprovació del cable per caiguda de tensió

La caiguda de tensió per resistència i reactància d'una línia (depreciant la influència de la capacitat) ve donada per l'Eq. 7.

Els valors de reactància per fase i resistència per fase són 0,430 i 0,154 Ω respectivament. La intensitat de la línia és la calculada en l'apartat A.2.3.1. El resultat

dóna un valor de 0,97% (242,50 V), que és inferior al 5% estipulat en la normativa. Per tant és admissible.

B.2.3.5 Comprovació del cable per sol·licitud electrodinàmica

Es calcularà la màxima potència del curtcircuit a la xarxa a la qual es pot tenir connectat la instal·lació, tenint en compte els esforços electrodinàmics als que es veuen sotmesos els embarrats. Aquests esforços són màxims en l'instant en què es produeix la cresta inicial en la corrent de curt circuit. En aquest cas, el valor és de 4,7 kA.

Seguint el procés de càlcul de F.U.T. de SIEMENS, s'utilitzarà la Eq. 8. Substituint els valors s'obté que la freqüència respecte la de la xarxa és 9,37 vegades superior. D'aquesta forma la freqüència d'oscil·lació queda lluny de la crítica a 2 vegades la freqüència natural i per tant s'està allunyat de possibles ressonàncies.

La constant C és $3,6 \cdot 10^5$ i s'ha considerat la distància entre els extrems de la barra 48 cm.

B.2.3.6 Comprovació del cable per pèrdues de potència

Les pèrdues de potència per efecte Joule en una línia venen donats per la Eq. 9.

Si substituïm els valors en aquesta equació obtenim unes pèrdues de 3,23 kW.

B.2.3.7 Comprovació del cable per curtcircuit

Durant un curtcircuit es produeix una elevació molt ràpida de la temperatura del conductor i consegüentment de l'aïllament, que pot resultar-ne malmès. Admetent que el procés tèrmic és adiabàtic, l'energia que rep el conductor durant el temps que dura el curtcircuit és l'Eq. 10.

Sabent que tota aquesta calor s'inverteix en incrementar la temperatura del conductor, aquest increment serà el que es calcula amb l'Eq. 11.

Substituint ambdues equacions, es pot arribar a la expressió presentada en l'Eq. 12.

Es tenen els següents valors en funció del material de conductor:

	d (kg/dm ³)	C _p (Ws/gK)	c (siem m/mm ²)
Cu	8,9	0,393	56
Al	2,7	0,92	35

Es considerarà que el conductor parteix de la temperatura corresponent al règim nominal de càrrega i que durant el transcurs del curtcircuit arriba a la temperatura límit admissible per l'aïllament. La taula següent resumeix aquests valors:

Aïllament	Temperatura de servei	Temperatura límit
PVC	80	160
EPR/PR	90	250

Amb tot això s'arriba a la taula resum següent, on K ha estat calculada a partir de la Eq. 13.

Aïllament	Conductor	K
EPR/PR	Cu	160
	Al	90
Polipropilè	Cu	160
	Al	90
PVC	Cu	115
	Al	75

En el present projecte, al tractar-se d'un conductor tipus HEPRZ1 Al H25 amb aïllament de EPR i secció 50 mm² Al, resulta un valor de K=90.

Per les característiques de les proteccions, el temps d'activació es definirà com 0,4 segons, resultant que el corrent admissible pel cable durant aquest temps és de 7,12 kA, essent superior al corrent de curtcircuit trifàsic existent de 4,7 kA.

B.2.3.8 Comprovació de la pantalla del cable per curtcircuit fase-terra

El cable disposa d'una pantalla metàl·lica de 16 mm² de secció de Cu, que serà per tant capaç de suportar una intensitat de curtcircuit de 6.047 A segons la Eq. 14, un corrent molt superior al que es pugui arribar en curtcircuit fase-terra que segons fabricant és de 492 A.

B.3.1. Dades de partida. Característiques de les línies de baixa tensió

- Tipus de corrent (corrent altern - trifàsic / monofàsic)
- Tensió nominal de la línia, V, en volts
- Potència màxima prevista, P, en Watts
- Factor activa / reactiva (Cos φ)
- Tipus d'instal·lació
- Tipus de cable (conductor i aïllament)
- Intensitat màxima admissible, segons el REBT
- Longitud de la línia, L, en m
- Secció del cable, S en mm²
- Conductivitat del cable, χ, en siemens·m/mm²

B.3.2. Fórmules utilitzades baixa tensió

	En línies monofàsiques	En línies trifàsiques
Intensitat, I (A)	$I = P / V \cdot \text{Cos } \varphi$	$I = P / \sqrt{3} \cdot V \text{ Cos } \varphi$
Caiguda de tensió, V (%)	$V = 2 \cdot P \cdot L \cdot 100 / \chi \cdot s \cdot V^2$	$V = P \cdot L \cdot 100 / \chi \cdot s \cdot V^2$

B.3.3. Resultats

La caiguda de tensió no ha de superar en cap cas els valors següents:

- Línia general d'alimentació: (REBT – ITC-BT-14)
 - Comptadors totalment centralitzats: 0,5%
 - Comptadors parcialment centralitzat: 1%
- Derivacions individuals: (REBT – ITC-BT-15)
 - Comptadors concentrats en més d'un lloc: 0,5%

- Comptadors totalment concentrats en més d'un lloc: 1%
- En subministres per un únic usuari en què no existeixi línia general d'alimentació: 1,5%
- Línies generals d'enllumenat: 3% (REBT – ITC-BT-19)
- Línies generals de força: 5% (REBT – ITC-BT-19)

Els resultats obtinguts són els que es poden veure a la taula adjunta. Segons els càlculs realitzats s'obté un corrent de 288,68 A. El tram referent a la interconnexió dels mòduls emissors de witricitat tindrà un corrent de 80,19 A.

La secció dels cables que enllaçaran els mòduls emissors serà del tipus 0.6/1KV i de 4x240mm².

La transformació en cada subestació serà triangle-estrella d'aquesta forma podem connectar els mòduls emissors a 400V amb la unió d'una fase i el neutre. S'ha previst també la instal·lació d'una bateria de condensadors Circutor STD6 105 87kVAr per compensar l'energia reactiva.

Pel càlcul de les seccions de cable en la zona de corrent alterna hem utilitzat la taula annexa on s'hi detallen els resultats pel que fa a dimensionat de les seccions i tipus de cable. Tot aquest dimensionament de seccions s'ha realitzat tenint en compte la ITC-20 i la ITC-21

B.3. Posada a terra

Un altre tema important és la posada a terra de la instal·lació elèctrica. Pel dimensionat es duen a terme els següents càlculs.

Dades de partida. Característiques del terreny i dels materials:

- Resistivitat del terreny (ρ) = 1500 Ω m
- Longitud de les piquetes (l) = 2 m
- Número de piques en paral·lel (n)= 4
- Longitud del cable enterrat (L)= 20 m

Fórmula utilitzada per a les piquetes:

$$R_p = \frac{\varphi}{l} \quad (\text{Eq. 15})$$

Essent:

R_p : Resistència piqueta en Ω .

φ : Resistivitat terreny en Ωm .

l : longitud piqueta en metres.

Fórmula utilitzada pel conductor:

$$R_c = \frac{2 \cdot \varphi}{L} \quad (\text{Eq. 16})$$

Essent:

R_c : Resistència del conductor en Ω .

φ : Resistivitat terreny en Ωm .

L : longitud del conductor en metres.

Resistència total:

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_c} + \frac{1}{R_{p1}} + \frac{1}{R_{p2}} + \dots + \frac{1}{R_{pn}} \quad (\text{Eq. 17})$$

Essent:

R_t : Resistència total en Ω .

R_c : Resistència del conductor en Ω .

R_p : Resistència piqueta en Ω .

$$R_t = \frac{\varphi}{0,5 \cdot L + n \cdot l} \quad (\text{Eq. 18})$$

Essent:

R_t: Resistència total en Ω.

R_c: Resistència del conductor en Ω.

R_p: Resistència piqueta en Ω.

Substituint els valors inicials per les 4 piquetes, s'obté que el valor de la resistència de terra serà de 10,27 Ω. Un valor suficientment baix per poder desviar corrents perillosos per la instal·lació o per les persones. Per tant es donen per bones les dades utilitzades en el càlcul.

LINES PRINCIPALS		Potencia (W) (VA)	Tensió (V)	Coef. receptor	Coef. simultaneïtat	Potencia de càlcul (W) (VA)	Cos f	Intensitat màxima prevista	Calibre protecció	Tipus d'instal·lació	RE	Tipus de cable	Cu/Al	Secció (mm ²)	Diàmetre tub (mm)	Intensitat màxima admissible	Longitud (m)	Intensitat de curtcircuit (kA)	Caiguda de tensió parcial	Caiguda de tensió total
L0	Linia distribuïdora	3375000	25000	1	1	3375000	0,9	50,06 A	125 A	Tubo	ITC-LAT-06	HEPRZ1 18/30kV	Al	3x50+T	225 mm	130 A	200	4,7	0,03%	0,03%
A0	Derivació general	5400000	25000	1,25	0,5	3375000	0,9	50,06 A	125 A	Tubo	ITC-LAT-06	HEPRZ1 18/30kV	Al	3x50+T	225 mm	130 A	6000	4,70	0,97%	0,97%
A1	SUBESTACIÓ 1-30	180000	400	1	1	180000	0,9	288,68 A	300 A	Tubo	ITC-BT-07	RZ1-K 0,6/1kV	Cu	4x240+T	225 mm	485 A	20	2,34	0,17%	0,17%
A1.1	Derivació individual	200000	400	1	0,9	180000	0,9	288,68 A	300 A	Tubo	ITC-BT-07	RZ1-K 0,6/1kV	Cu	4x240+T	225 mm	485 A	200	1,74	1,87%	1,84%
W	WITRICITY	40000	400	1,25	1	50000	0,9	80,19 A	125 A	Tubo	ITC-BT-07	RZ1-K 0,6/1kV	Cu	4x25+T	90 mm	140 A	10	2,04	0,22%	2,05%

ANNEX C**INDEX**

C.1 Objecte	91
C.2 Descripció de l'obra	91
C.3 Termini d'execució i personal en obra	91
C.4 Equip tècnic	91
C.5 Activitats	92
C.6 Equips de treball.....	92
C.7 Maquinària	93
C.8 Elements	93
C.9 Riscos laborals i mesures preventives	94
C.9.1 Activitats	94
C.9.1.1 Implantació de l'obra i delimitació de les zones de treball	94
C.9.1.2 Arreplec de material, magtzeimatge i expedició	95
C.9.1.3 Petita obra civil (Excavació de rases, moviment de terres i runes en general. Formigonat. Compactat. Reposició paviment.)	96
C.9.1.4 Utilització d'explosius	99
C.9.1.5 Estesa de nous cables soterrats	100
C.9.1.6 Posada en servei de la instal·lació	102
C.9.1.7 Utilització de maquinària	104
C.9.2 Identificació de riscos, mesures preventives i proteccions per maquinària..	105
C.9.2.1 Retroexcavadora.....	105
C.9.2.2 Pala carregadora	105
C.9.2.3 Camió basculant	105
C.9.2.4 Dumper, carretó motoritzat amb bolquet	106
C.9.2.5 Compressor	106
C.9.2.6 Martell (pneumàtic, trencador, trepador per a bolons o barrinades)..	108
C.9.2.7 Serra per a paviments, lloses de formigó i capes de rodament.....	108
C.9.2.8 Formigonera elèctrica, pastera	109
C.9.2.9 Camió formigonera	110
C.9.2.10 Vibrador.....	110
C.9.2.11 Camió grua.....	110
C.9.2.12 Grua mòbil.....	112
C.9.3 Identificació de riscos, mesures preventives i proteccions per elements auxiliars	

C.9.3.1	Escales de mà	112
C.9.3.2	Bateas, per moviment de material en obra	113
C.9.4	Anàlisi i avaluació dels riscos	113
C.10	Serveis sanitaris i comuns	114
C.10.1	Primers auxilis	114
C.10.2	Medicina preventiva	115
C.10.3	Evacuació d'accidentats	115
C.10.4	Serveis comuns	115
C.10.5	Formació.....	115

C.1 Objecte

L'objecte del present projecte és la construcció d'un nou circuit de Mitja Tensió per tal d'alimentar una futura instal·lació de recàrrega de vehicles elèctrics.

C.2 Descripció de l'obra

Està prevista l'estesa d'un nou circuit subterrani de mitja tensió a 25kV amb cable 50Al 18/30kV.

El traçat i ubicació exacte de les noves línies subterrànies a executar venen reflectides en els plànols adjunts al projecte.

Les línies es construiran amb conductor HEPRZ1 Al H25 3x50mm²

C.3 Termini d'execució i personal en obra

La previsió pel termini d'execució de l'obra un cop situats els materials en obra, s'ha estimat que serà de 10 setmanes des de l'inici de l'obra i nombre de personal desplaçat serà el que cregui convenient el contractista principal de l'obra.

S'ha considerat que els treballs seran realitzats ininterrompudament, sent la jornada prevista de 8 hores diàries.

C.4 Equip tècnic

Per aquesta obra, el contractista desplaçarà com a mínim l'equip tècnic següent:

- Director d'obra
- Cap d'obra
- Coordinador de Seguretat designat per el Promotor (si n'hi a més d'un en l'execució)

Per cada contractista o subcontractista o treballador autònom, Responsable de Seguretat i Salut en obra (formació mínima requerida de 50 hores en Prevenció de Riscos Laborals).

Assumint les següents funcions:

- Direcció i execució de l'obra
- Pla de Seguretat i Salut
- Seguretat en l'obra, proves necessàries, descàrrecs i posada en servei.
- Certificat final d'obra
- Proves de posada en servei

Un cop adjudicada l'obra i abans del seu inici, s'exigirà al contractista adjudicatari, la identificació dels esmentats llocs de treball i es mantindran les reunions necessàries amb el supervisor tècnic de l'obra a qui l'hi exposaran el seu Pla de Seguretat.

C.5 Activitats

Vist l'abast dels treballs, l'obra es pot dividir en les següents activitats bàsiques:

- Obra civil (excavació de rases, execució de perforació horitzontal dirigida, formigonat, pavimentació, etc.)
- Estesa de nous cables soterrats
- Posada en servei de la instal·lació
- Utilització de maquinària

Un cop desenvolupat el projecte definitiu el contractista ampliarà, si cal, aquesta relació en el seu Pla de Seguretat.

C.6 Equips de treball

La previsió de maquinària i mitjans auxiliars, que s'exposa a continuació, serà confirmada i ampliada si cal pel contractista, en el Pla de Seguretat i Salut, un cop desenvolupat el projecte i decidits els procediments de treball a seguir.

C.7 Maquinària

- Retroexcavadora amb equip de martell trencador
- Pala carregadora
- Camió basculant
- Dumper, carretó a motor amb bolquet
- Compressor
- Martell (pneumàtic, martell trencador, trepador per a bolóns o barrines)
- Serra per a paviments, lloses de formigó i capes de rodament
- Formigonera elèctrica (pastera)
- Camió formigonera
- Vibrador
- Camió grua
- Grua mòbil
- Màquina de tir per estesa de cables

C.8 Elements

- Escales de mà
- Bateas, per moviment de material en obra

C.9 Riscos laborals i mesures preventives

A continuació per cada activitat bàsica i cada equip de treball, previstos utilitzar en obra, es fa una identificació dels riscos més significatius així com de les mesures preventives i proteccions, que tindran tendència a controlar i reduir-los.

Els accessoris de la grua que s'utilitzen (bragues, estrobs, etc.) estaran en perfectes condicions d'ús.

El contractista en el seu Pla de Seguretat i Salut, una vegada decidides les activitats que executarà en l'obra i els equips de treball que disposarà, completarà aquesta llista, tant en activitats com en identificació de riscos, mesures preventives i proteccions.

C.9.1 Activitats

C.9.1.1 Implantació de l'obra i delimitació de les zones de treball

Abans de l'inici de l'obra el personal encarregat estudiarà, tenint en compte la superfície de terreny disponible i les entrades a les galeries, la distribució dels serveis necessaris durant el desenvolupament de l'obra (Arreplec, tallers oficines, serveis personal, etc.) així com els accessos per a vehicles i personal en les diferents activitats a realitzar.

Previ a l'inici de les activitats principals es delimitaran les zones d'actuació (tanques, cintes, cadenes, balises, etc.) amb la fi d'evitar els riscos a tercers, donada l'atracció que tenen les obres per a moltes persones alienes a ella.

Els riscos més freqüents durant aquesta activitat son:

- Riscos derivats de la manipulació de materials: incisions tallants, ferides punxants, llomadures.
- Caigudes de persones al mateix nivell
- Caigudes de càrregues o materials
- Caiguda d'objectes
- Riscos provocats per la maquinaria

- Riscos provocats per manca d'ordre i neteja

La protecció del personal que participi en aquesta activitat serà casc, granota, botes, guants i cinturó antillomadures.

A partir d'aquest moment existirà en obra una persona encarregada de la seguretat que revisi regularment les proteccions col·lectives pel seu manteniment i reposició.

C.9.1.2 Arreplec de material, magatzematge i expedició

La recepció del material necessari pel muntatge s'efectuarà en una o varies zones disposades a l'obra per a tal fi. En aquestes zones s'aniran classificant els diferents materials i s'emmagatzemaran fins l'expedició als seus emplaçaments definitius o la devolució per haver finalitzat l'obra. Així mateix s'emmagatzemarà el material que es desballesti fins la seva expedició al destí que es decideixi (ferralla, magatzem, etc.)

Els accessoris de la grua que s'utilitzen (bragues, estrobs, etc.) estaran en perfectes condicions d'ús.

El transport del material des de la zona d'arreplec fins el seu emplaçament o viceversa, es farà amb un vehicle adequat, mai amb grua mòbil o màquines retroexcavadora i el personal mai viatjarà en el mateix habitacle que la càrrega.

Els riscos més freqüents durant aquesta activitat son:

- Riscos derivats de la manipulació de materials: incisions tallants, ferides punxants, llomadures.
- Caigudes de persones al mateix nivell
- Caigudes de càrregues o materials
- Caiguda d'objectes
- Riscos provocats per la maquinaria
- Riscos provocats per manca d'ordre i neteja
- Sorolls

La protecció del personal que participi en aquesta activitat serà: casc, granota, botes, guants, cinturó antillomadures i orelles.

C.9.1.3 Petita obra civil (Excavació de rases, moviment de terres i runes en general. Formigonat. Compactat. Reposició paviment.)

La majoria d'accidents en aquestes activitats són col·lisions o atropellaments i es produeixen sobre tot per distraccions.

Els vehicles i màquines només seran manejats per el personal assignat.

Les operacions indicades no s'improvisaran ni les organitzarà el propi maquinista si no que es planificaran dins del desenvolupament d'activitats de l'obra i estaran dirigides pel cap d'obra i l'encarregat. Els operaris tindran instruccions concretes del seu comès i la manera de executar-lo, evitant així que prenguin iniciatives sobre tasques que no han de fer.

Tots els operaris rebran instruccions per que si a l'excavar es troben amb variacions dels estrats o de les seves característiques, aturin l'obra en aquest piló i avisin a la prefectura de l'obra, a l'objecte d'adoptar les mesures oportunes per evitar enfonsaments.

Els circuits de la maquinaria, així com el seu radio d'acció han de senyalitzar-se, per que ningú resti dins i evitar així que es produeixin atropellaments i col·lisions.

En funció del tipus de terreny, el contractista decidirà quin tipus de maquinaria és la més adequada per a realitzar l'excavació.

Els materials extrets de l'excavació s'arreglaran a una distància de la vora que sigui com a mínim igual a la profunditat prevista . Igualment s'actuarà en l'arreglecció d'altres materials junt a les excavacions. Amb aquesta mesura s'elimina en part el risc de enfonsaments per càrregues estàtiques.

Per evitar els enfonsaments produïts per càrregues dinàmiques, es prohibirà la circulació de vehicles per les proximitats dels caps d'excavació.

L'encarregat revisarà tots els fronts d'excavació al principi i al final de la jornada, per a comprovar l'estabilitat del terreny i que tots els talls es trobin protegits.

S'estendrà a que les excavacions estiguin obertes al mínim de temps possible i sempre es protegirà el risc de caigudes a diferent nivell amb tanques de cap de buidat.

Per l'accés de personal al fons de l'excavació (alçades inferiors a 5 m), s'utilitzaran escales de 0,50 m d'amplada i amb pendent no superior a 1:4. El número d'escales serà el suficient per permetre sortir al personal amb suficient rapidesa en cas d'emergència.

Quan les rases tinguin més d'un metre de profunditat, sempre que hagin operaris en el seu interior, es mantindrà un en l'exterior que donarà l'alarma en cas de produir-se alguna emergència.

Per travessar les rases sense risc, es disposaran passarel·les amb baranes de protecció.

No s'efectuaran treballs simultanis en diferents nivells de la mateixa vertical, ni es treballarà sense casc de seguretat i s'evitarà situar càrregues suspeses pel damunt dels operaris.

Si es necessari que s'apropin vehicles a la vora de l'excavació, s'instal·laran límits de seguretat.

En el cas de rases, de profunditat igual o superior a 1,20 m, si no es pot donar el talús adequat, es recorrerà a l'apuntament.

Mai s'apuntalarà damunt de superfícies inclinades i en cas necessari es farcirà el trasdossat de l'estrebat per assegurar un perfecte contacte amb el terreny.

Els estrebats s'hauran de revisar diàriament abans de començar el treball, tensant els colzals que s'hagin afluixat.

Els estrebats es trauran només quan deixin de ser necessaris i sempre amb franges horitzontals començant per la part inferior.

En el cas que el formigó hagi d'arribar a l'excavació mitjançant bombeig, es deuran d'observar les mesures necessàries per evitar l'efecte fuet de la manega.

Un cop acabat el formigonat es senyalitzarà convenientment la zona per evitar el risc de caigudes o enfonsament fins el seu fraguat.

Els riscos més freqüents en l'excavació, moviment de terres i runes, formigonat,

compactat i pavimentació, son:

- Atropellaments
- Col·lisions
- Capgirells
- Esclafament per corriments de terres
- Caigudes del personal al mateix o diferent nivell
- Caigudes de materials
- Cops o aixafaments amb parts mòbils de màquines
- Riscos provocats per manca d'ordre i neteja.
- Risc elèctric
- Riscos derivats de la manipulació de materials i ferramentes com incisions tallants, ferides punxants i llomadures.
- Riscos provocats per la maquinaria i vehicles de transport
- Soroll que pot provocar sordeses, fatiga, etc.
- Riscos derivats de la manipulació de formigó com dermatosis i esquixada en els ulls.
- Riscos derivats d'inhalació de vapors orgànics de betums.

Les proteccions col·lectives a muntar:

- Interruptors diferencials
- Senyalitzacions d'obra
- Tanques de contenció de vianants
- Cintes de senyalització
- Senyals i balises

- Cartells anunciadors, vedat el pas, circulin per la dreta, etc.
- Estrebats
- Passarel·les
- Baranes resistents

Les proteccions del personal que hi participi en aquesta activitat son:

- Botes de seguretat (tall)
- Botes de seguretat amb sola antilliscant (operadors)
- Botes de goma amb puntera reforçada (tall dies de pluja)
- Casc
- Guants
- Granota
- Ulleres
- Protector d'oïdes
- Màscares protectores (pols, gas, betums, etc.)
- Impermeable
- Cinturó antillomadures
- Cinturó antivibratori

C.9.1.4 Utilització d'explosius

En cas de ser necessària la utilització d'explosius en algunes fases de la excavació o demolició, el contractista inclourà en el Pla de Seguretat la identificació de riscos, les mesures preventives i les proteccions necessàries tant col·lectives com personals. A

més lliurarà a la propietat els permisos necessaris i la relació de personal autoritzat per a la seva utilització.

C.9.1.5 Estesa de nous cables soterrats

Abans d'iniciar l'estesa, el cap d'obra comprovarà que tots els treballs previs d'adequació de la galeria i moviment de cables s'han realitzat correctament i per tant l'estesa pot efectuar-se sense perill per a les persones ni per el material.

Igualment abans d'iniciar l'estesa i donat que l'obra es troba dins de zona urbana, es muntaran les tanques de protecció, cintes de senyalització, balises, senyals de tràfic, etc. que siguin necessàries per evitar la circulació de vianants i vehicles dins de la zona de treball.

El moviment de les bobines només es realitzarà amb els útils previstos pel fabricant i sols s'enganxaran pels punts previstos i en las formes previstes.

Abans d'hissar qualsevol element, es comprovarà que es troba lliure i que no té cap entrebanc que l'uneixi a un altra element. Igualment es comprovarà que la grua estigui ben calçada per evitar desplaçaments de la càrrega.

Un cop enganxada la peça, el personal encarregat d'allò, s'allunyarà quan les eslingues estiguin tenses.

Les eslingues utilitzades estaran sempre en perfecte estat i es substituiran immediatament les que s'observin que tenen alguna deterioració per petita que sigui. Si s'utilitzen eslingues tèxtils, només s'utilitzaran les que comptin amb identificació del material i càrrega màxima.

Per dirigir peces de molta grandària s'utilitzaren cordes guia.

Els gruistes rebran instruccions sobre: càrregues màximes admissibles, no passar les càrregues per damunt de les persones, elevar sempre les càrregues en vertical evitant les estrebades, mantenir les distàncies de seguretat amb línies aèries, etc.

Els treballs d'estesa es suspendran en dies de pluja intensa, turmentes, neu, gelades fortes o velocitat del vent elevada.

Mai es programaran treballs que obliguin a mantenir dos talls en la mateixa vertical.

Durant la manipulació dels materials es prendran totes les precaucions per evitar enganxaments de peus i mans, llomadures, etc.

Tot el personal que intervingui en l'estesa estarà en contacte via radio o telèfon i es comprovarà abans de l'inici dels treballs la bona recepció des dels llocs de treball, en especial els operaris responsables del cabrestant de tir, del cavallet de desenvolupament i del cable guia.

La màquina de tir i el cavallet desenrotllador estaran fermament ancorats.

Es tindrà especial cura en l'entrada del cable a la conducció i no s'acompanyarà mai amb les mans.

El cable de tir estarà en perfectes condicions i d'una càrrega de trencament adequada als esforços a realitzar.

El personal que realitzi els empalmes i les terminacions de cables ha d'estar homologat.

Els riscos més freqüents durant aquesta activitat son:

Riscos derivats de la manipulació dels materials i ferramentes com incisions tallants, ferides punxants i llomadures.

- Caigudes del personal al mateix o diferent nivell
- Caigudes de càrregues o materials
- Riscos provocats per la maquinaria i vehicles de transport
- Riscos provocats per manca d'ordre i neteja
- Risc elèctric
- Riscos derivats de treballs amb bufadors (cremades i incendis)
- Inhalacions de substàncies nocives

Les proteccions col·lectives a muntar son:

- Tancaments de protecció

- Cintes de senyalització
- Senyals i balises
- Extintors

Les proteccions bàsiques del personal que participi en aquesta activitat son:

- Botes de seguretat
- Casc
- Guants
- Granota
- Ulleres

Aquestes proteccions bàsiques es complementaran, quan les diferents fases de l'activitat ho requereixin, amb:

- Cinturó antillomadura
- Orelleres
- Màscare protectores
- Cinturó de seguretat
- Cinturó antivibratori

C.9.1.6 Posada en servei de la instal·lació

La posada en servei de la instal·lació s'efectuarà un cop acabada l'obra i seguint els protocols corresponents elaborats pel projectista.

El personal que realitzi els assaigs necessaris per la posta en servei, haurà de ser expert en aparells elevadors de tensió d'assaigs.

Totes les zones a on estiguin ubicats els circuits a assajar, es senyalitzaran per evitar el pas de personal no inclòs en l'equip de laboratori.

L'energització dels diferents circuits es farà per separat, senyalitzant les zones de treball per evitar l'entrada de personal aliè a l'equip de posada en servei. El personal encarregat de l'energització haurà d'estar homologat per ENDESA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA, S.L. per a l'execució de maniobres.

Els riscos més freqüents durant aquesta activitat són:

- Riscos derivats de la utilització de ferramentes com incisions tallants, ferides punxants i llomadures.
- Caigudes del personal al mateix o diferent nivell
- Risc elèctric
- Incendi

Les proteccions col·lectives a muntar són:

- Cintes de senyalització
- Cartells indicadors
- Extintors

Les proteccions bàsiques del personal que hi participi en aquesta activitat són:

- Botes de seguretat
- Casc
- Guants
- Ulleres

Aquestes proteccions bàsiques es complementaran amb les necessàries si, per necessitats de la posta en marxa, es necessita maniobrar o posar a terra algun circuit d'A.T.

C.9.1.7 Utilització de maquinària

C.9.1.7.1 General

Complint el Reial Decret 1215/97, la conducció en obra d'equips de treball automotors ha de ser realitzada per operaris que hagin rebut una formació específica per a la conducció segura dels esmentats equips.

Els vehicles i màquines es revisaren periòdicament, amb especial atenció a l'estat dels mecanismes de frenat, direcció, senyals acústiques i il·luminació.

Abans de posar la màquina en marxa, s'haurà de comprovar que no hi ha persones ni obstacles al seu voltant.

El maquinista coneixerà quina es la zona de treball prèviament delimitada així com l'alçada de seguretat en el cas que es treballi sota línies d'A.T.

No es carregarà en cap cas per damunt de la cabina.

No es permetrà el transport de persones en les màquines que no hi tinguin seient per acompanyants.

No s'utilitzaran les màquines excavadores com a grues ni per el transport de material.

C.9.1.7.2 Condicions que han de reunir les màquines en obra

Les màquines hauran de portar senyalització acústica, retrovisors a cada costat, servofrens i frens de mà. Tot allò en perfecte estat de funcionament.

C.9.1.7.3 Emmagatzematge de combustible

L'emmagatzematge i manipulació de bidons de líquids inflamables, gasolina, gas-oil, etc., s'habilitarà un lloc idoni en la caseta d'obra adequada per a tal fi i lluny del personal.

Sota cap concepte s'encendran focs o se soldarà en les proximitats.

Es mantindrà el terra net de carburants i olis.

Es disposarà dels mitjans necessaris d'extinció.

C.9.2 Identificació de riscos, mesures preventives i proteccions per maquinària

C.9.2.1 Retroexcavadora

Veure Notes Tècniques de Prevenció NTP-122 i NTP-126

C.9.2.2 Pala carregadora

Veure Notes Tècniques de Prevenció NTP-79 i NTP-126

C.9.2.3 Camió basculant

Riscos més freqüents:

- Xocs contra elements de l'obra
- Atropellament de persones
- Tombades
- Caigudes d'objectes
- Caigudes a diferent nivell
- Cops

Mesures de prevenció:

- La caixa s'ha de baixar després de descarregar i abans d'iniciar el moviment.
- Ajustar la velocitat a les característiques de l'obra

- Respectar les senyalitzacions de l'obra
- Respectar les normes del Codi de Circulació
- Les zones de maniobra han d'estar eixerides de personal
- No apropar-se a les rases a distàncies inferiors de 1 m
- Durant les operacions de càrrega el xofer ha de ser fora de la cabina i del radi d'acció de la màquina

Proteccions col·lectives:

- Cintes de senyalització en zones de maniobres
- Extintor en cabina

Proteccions individuals del xofer:

- Casc de seguretat quan estigui fora de la cabina
- Calçat de seguretat antilliscant
- Guants

C.9.2.4 Dumper, carretó motoritzat amb bolquet

Veure Nota Tècnica de Prevenció NTP-76

C.9.2.5 Compressor

Riscos més freqüents:

- Bolcades des del vehicle de transport
- Despreniment i caiguda durant el transport en suspensió

- Sobre esforços
- Soroll
- Trencament de mànega a pressió
- Emanacions de gasos tòxics

Mesures de prevenció:

- No circular per pendents superiors a les admissibles
- Utilitzar sempre per personal qualificat
- Els estrobos per a càrrega i descàrrega han d'estar en perfectes condicions d'ús
- Efectuar les revisions de manteniment fixades pel constructor
- No estendre les mànegues per llocs subjectes a abrasions o pas de vehicles

Proteccions col·lectives:

- Delimitar les zones de treball per evitar l'accés de persones alienes

Proteccions individuals

- Casc de seguretat
- Botes de seguretat
- Guants
- Orelleres
- Ulleres contra projeccions

C.9.2.6 Martell (pneumàtic, trencador, trepador per a bolons o barrinades)

Riscos més freqüents:

- Soroll
- Projecció d'objectes
- Trencada de mànegues

Mesures de prevenció:

- Efectuar les revisions de manteniment fixades pel constructor
- No estendre les mànegues per llocs subjectes a abrasions o pas de vehicles

Proteccions col·lectives:

- Delimitar les zones de treball per evitar l'accés de persones alienes

Proteccions individuals:

- Casc de seguretat
- Botes de seguretat
- Guant
- Orelleres
- Ulleres contra projeccions

C.9.2.7 Serra per a paviments, lloses de formigó i capes de rodament

Riscos més freqüents:

- Sobre esforços

- Soroll
- Risc elèctric
- Projecció de partícules

Mesures de prevenció:

- Abans d'iniciar les operacions de tall identificar i marcar les línies elèctriques subterrànies
- Utilitzar el disc adequat per el material a tallar
- Deixar de tallar si es detecten canvis en la composició del terreny
- Delimitar les zones d'actuació

Proteccions col·lectives:

- Cintes de senyalització en zones de maniobres

Proteccions individuals:

- Casc de seguretat
- Calçat de seguretat
- Guants
- Ulleres
- Orelleres

C.9.2.8 Formigonera elèctrica, pastera

Veure Nota Tècnica de Prevenció NTP-121

C.9.2.9 Camió formigonera

Veure Nota Tècnica de Prevenció NTP-93.

C.9.2.10 Vibrador

Riscos més freqüents:

- Esquitxades de lletada als ulls
- Descàrregues elèctriques
- Caigudes a diferent nivell

Mesures de prevenció:

- Utilitzar per personal qualificat
- Vibrar el formigó des de lloc estable
- Protegir el cable d'alimentació d'agressions mecàniques

Proteccions col·lectives:

- Les corresponents a l'activitat d'obra civil

Proteccions individuals:

- Casc de seguretat
- Botes de PVC
- Guants
- Ulleres contra projeccions

C.9.2.11 Camió grua

Riscos més freqüents:

- Atropellament de persones
- Tombades
- Caigudes de materials
- Caigudes a diferent nivell
- Cops i atrapaments per material
- Risc elèctric per contacte amb línies aèries
- Soroll

Mesures de prevenció:

- Les zones de maniobra han d'estar esclarides de personal
 - Respectar les senyalitzacions de l'obra
 - Respectar les normes del Codi de Circulació
 - Abans d'aixecar el material assegurar de que el seu pes no sobrepassa al màxim de la ploma i que està ben calçada ser possible, fora de les zones de pas.
 - No apropar-se als talls a distàncies inferiors d'1 m
 - Pujar i baixar del vehicle pels llocs previstos
 - Utilitzar eslingues en bon estat
 - No desplaçar el vehicle amb la ploma estesa i abans d'operar comprovar l'existència de línies aèries
 - No passar la càrrega suspesa per damunt del personal
- Proteccions col·lectives:
- Cintes de senyalització en zones de maniobres
 - Extintor en cabina
- Proteccions individuals del xofer:

Proteccions col·lectives:

- Casc de seguretat quan estigui fora de la cabina
- Calçat de seguretat antilliscant
- Guants

C.9.2.12 Grua mòbil

Veure Nota Tècnica de Prevenció NTP-208.

C.9.3 Identificació de riscos, mesures preventives i proteccions per elements auxiliars

C.9.3.1 Escales de mà

Riscos més freqüents:

- Caigudes a diferent nivell
- Contusions durant el transport Mesures de prevenció:
 - Els suports de l'escala tindran elements antilliscants i sempre es recolzarà sobre superfícies planes
 - Els muntants seran d'una sola peça i els graons estaran encastats
 - Les escales es col·locaran apartades d'elements mòbils que puguin enderrocar-les i, a ser possible, fora de les zones de pas.
 - La pujada i baixada hi ha que fer-les de cara a l'escala
 - No s'ha de pujar amb pesos superiors a 25 kg
 - La inclinació serà aproximadament d'1:4
 - No es poden salvar altures superiors a 5 m, a menys que estiguin reforçades en el centre
 - Per a altures superiors a 7 m s'utilitzaren escales especials

- La llargària de les escales utilitzades com accés a punts superiors, han de sobrepassar en 1 m dit punt i estar amarrades a ell, no fent-la servir mai més d'una persona.

Proteccions col·lectives:

- Les escales d'estisores estaran proveïdes de cadenes o cables que impedeixin que s'obrin al utilitzar-les

Proteccions individuals:

- Casc de seguretat
- Botes de seguretat amb sola antilliscant
- Guants
- Cinturó de seguretat

C.9.3.2 Bateas, per moviment de material en obra

Veure Nota Tècnica de Prevenció NTP-77.

C.9.4 Anàlisi i avaluació dels riscos

L'anàlisi i l'avaluació dels riscos, per a les activitats i equips de treball més significatius, que estan previstos durant el desenvolupament dels treballs, queden reflectits en les taules incloses en l'Annex.

La valoració dels riscos s'han efectuat seguint la "Guia de referència per a la identificació i avaluació de riscos en la Indústria Elèctrica" elaborada per l'Associació de Medicina i Salut en el treball d'UNESA, per a la Indústria Elèctrica (AMYS).

El criteri fixat per dita guia per la valoració dels riscos identificats, es similar al recomanat pel Institut Nacional de Seguretat i Higiene en el treball:

AVALUACIÓ DEL RISC = PROBABILITAT * CONSEQÜÈNCIA

Essent:

- PROBABILITAT, la probabilitat de que es materialitzi el risc, segons la valoració: Baixa (1), Mitjana (2) o Alta (3).
- CONSEQÜÈNCIA, les conseqüències derivades si es materialitza el risc, segons la valoració: Baixa (1), Mitjana (2) o Alta (3).
- AVALUACIÓ DEL RISC, resultant de l'aplicació de la següent taula:

		CONSEQÜÈNCIES		
PROBABILITAT		Baixa (1)	Mitjana (2)	Alta (3)
Baixa (1)	(1)	TRIVIAL (T)	(2) TOLERABLE (To)	(3) MODERAT (M)
Mitjana (2)	(2)	TOLERABLE (To)	(4) MODERAT (M)	(6) IMPORTANT (I)
Alta (3)	(3)	MODERAT (M)	(6) IMPORTANT (I)	(9) INTOLERABLE (In)
		AVALUACIÓ DEL RISC		

C.10 Serveis sanitaris i comuns

C.10.1 Primers auxilis

Encara que l'objecte d'aquest estudi de Seguretat i Salut és evitar els accidents laborals, hi ha que reconèixer que existeixen causes de difícil control que poden fer-los presents. En conseqüència, és necessari preveure la prestació de primer auxilis per atendre als possibles accidentats, d'acord amb el Reial Decret 1627/1997.

Donada les característiques de l'obra i instal·lació a efectuar, serà necessari dotar-lo d'una farmaciola de primers auxilis per tall de treball, en el que se li donin les primeres atencions sanitàries als possibles accidentats.

En el Pla de Seguretat i Salut que elabori el contractista adjudicatari de l'obra, haurà de constar la ubicació, així com, la dotació de les esmentades farmacioles.

C.10.2 Medicina preventiva

Amb la fi d'aconseguir evitar amb lo possible les malalties professionals en aquesta obra, així com, les disfuncions derivades dels trastorns físics, psíquics, alcoholisme i resta de toxicomanies perilloses, es preveu que el contractista adjudicatari, en compliment de la legislació vigent, realitzi els reconeixements mèdics als treballadors abans de l'inici de l'obra i també exigirà aquest compliment a la resta de les empreses que siguin contractades per ell.

C.10.3 Evacuació d'accidentats

L'evacuació d'accidentats, que per les seves lesions així ho requereixin, estarà prevista pel contractista adjudicatari de l'obra mitjançant la contractació d'un servei d'ambulàncies i/o helicòpter, que definirà en el seu Pla de Seguretat.

C.10.4 Serveis comuns

Donada les característiques de l'obra i instal·lacions a efectuar, serà necessari dotar-la com a mínim de dos casetes d'obra, una de serveis i un altre de vestuaris, de mesures aproximades de 6,5*2,5 m, per a cada 14 treballadors o fracció, el contractista adjudicatari de l'obra definirà la situació i el nombre de casetes d'obra en el seu Pla de Seguretat.

C.10.5 Formació

Tota persona que intervingui en l'obra, rebrà una formació general de seguretat d'acord amb les hores que consta en l'apartat del pressupost.

Cada contractista o subcontractista o treballador autònom, disposaran en obra de una persona Responsable de Seguretat i Salut en obra (formació mínima requerida de 50 hores en Prevenció de Riscos Laborals).

Al personal que actuï com a cap de treballs se li formarà O.G.S.H.T. capítol VI, en especial Art.67, Art.68 i Art.69, així com en la Instrucció General d'Operació (I.G.O.) i Fitxes Pràctiques d'Execució (famílies 1, 2, 5 i 7).

ANNEX D

D.1. Objecte

El present annex pretén demostrar i posar en pràctica el funcionament del sistema de transferència d'energia elèctrica mitjançant witricitat a partir d'un muntatge a petita escala del sistema de recàrrega.

Es durà a terme un experiment relacionat amb la dinàmica del sistema de recàrrega per witricitat.

- Experiment: comportament del receptor enfront l'avanç d'aquest per sobre dels emissors. S'analitzarà aquesta senyal per després dimensionar-ne el rectificador en l'apartat 3.2.8. de la memòria.

D.3. Muntatge electrònic

L'esquema següent per al muntatge electrònic d'aquest treball experimental és el present en la Patent US 2011/0193416. Aquest muntatge és una adaptació del que s'ha dissenyat per al model WiT-2000. S'ha partit de l'esquema presentat a la figura següent i s'han substituït alguns components de difícil adquisició per d'altres més accessibles.

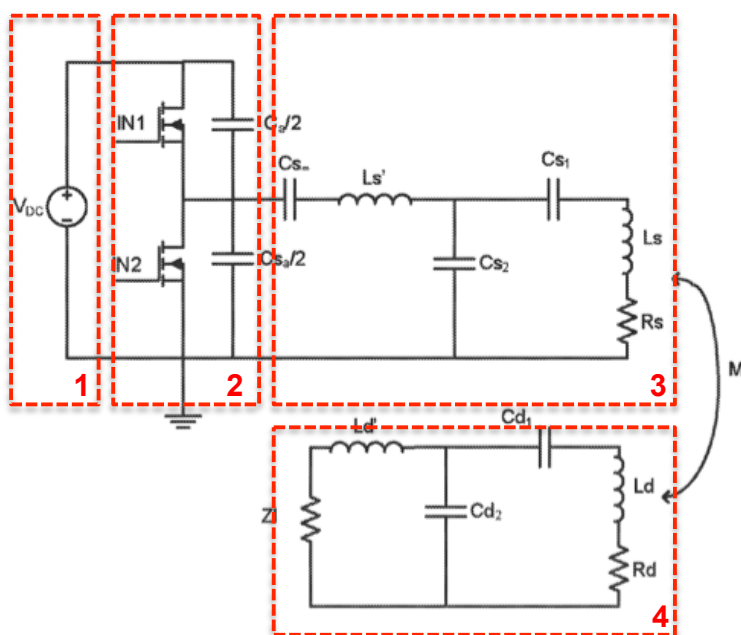


Figura C.1. Esquema elèctric presentada en la patent

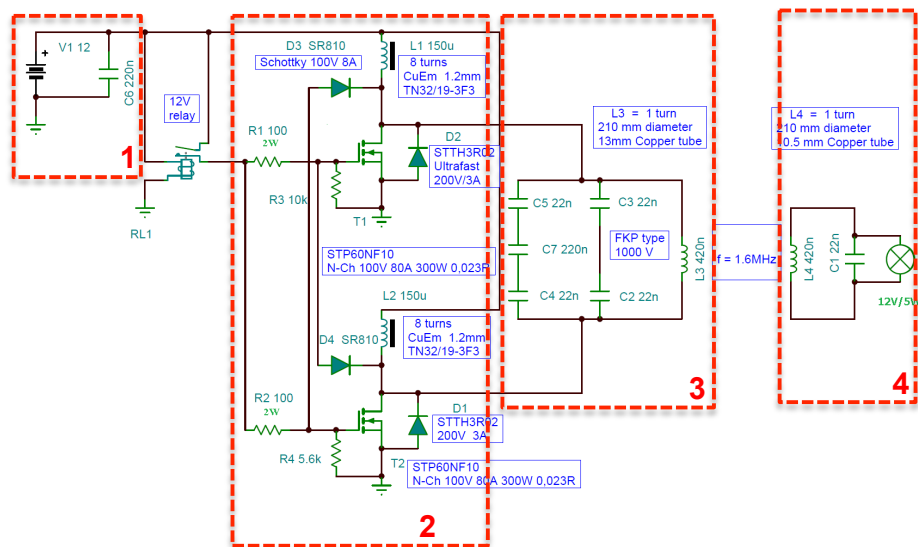


Figura C.2. Esquema elèctric a escala

El circuit es compon bàsicament de 4 parts:

- Font d'alimentació
- Oscil·lador a partir de dos transistors
- Circuit ressonant LC
- Circuit receptor LC

Els components utilitzats per a la seva construcció són els següents:

Component	Número
Font alimentació 500W 12V 14,5A	1
Capacitància 22nF	5
Capacitància 220nF	2
Resistència 680 Ω 1/4W	2
Resistència 10k 1/4W	1
Resistència 5,6k 1/4W	1
Diode STTH3R02 Ultrafast 200V/3A	4
Bobina 23 voltes Cu1,2mm TN25mm	2
MOSFET IRF540NPBF	2
Bobina 1 volta 210mm diàmetre tub Cu 13mm	3
Indicador lumínic 12V 5W	1

Amb una tensió d'entrada de 12V en corrent contínua s'alimenta un circuit ressonador LC de capacítancia total 22,48nF i inductància 420 nH. La bobina de l'emissor i la del receptor són d'una espira tubular de 210mm de diàmetre i de 13mm de diàmetre.

La freqüència de ressonància d'aquest circuit primari és 1,676MHz, calculada mitjançant l'Eq. 1. Mitjançant el circuit oscil·lador, compost per dos transistors col·locats a cada branca, es crea un corrent variable en aquest costat del circuit de la mateixa freqüència que la de ressonància LC.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Al secundari, també calculat a partir de l'Eq. 1, tenim una freqüència de ressonància de 1,656MHz, pràcticament igual que la del primari. D'aquesta forma els dos circuits ressonants es troben quasi a la mateixa freqüència de ressonància. Seria bo que els dos valors fossin idèntics però es tem que els corrents del circuit siguin molt alts i puguin destruir algun component. Tot i això, els corrents interns del circuit són de l'ordre de 8A.

Per fer un estudi a escala del model real s'ha decidit treballar amb el valor eficaç de la tensió en relació a les dimensions de la espira. S'ha definit així perquè en el cas real, tenim un rectificador que transforma a contínua la senyal, a 90MHz, rebuda en el receptor, però en aquest experiment no hi figura i per tant la senyal que es rep al receptor és alterna de 1,6MHz. Agafant el valor eficaç considerem la part contínua d'aquesta senyal i es pot veure el comportament de la ona deguda al moviment del receptor.

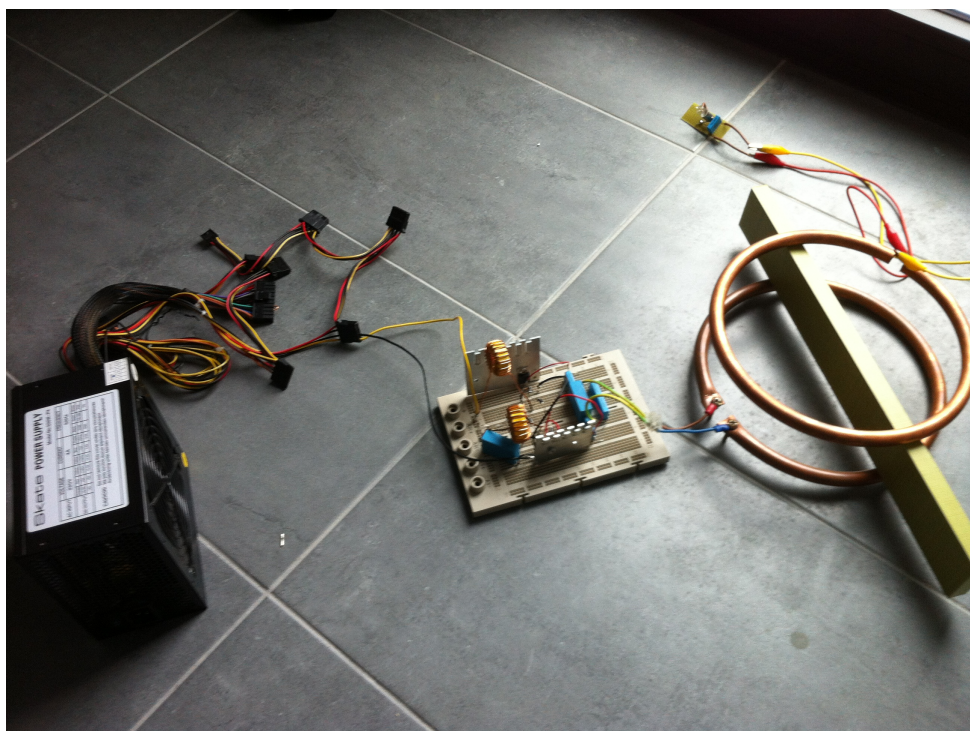


Figura 3. Experiment transferència per witricitat amb un emissor i receptor

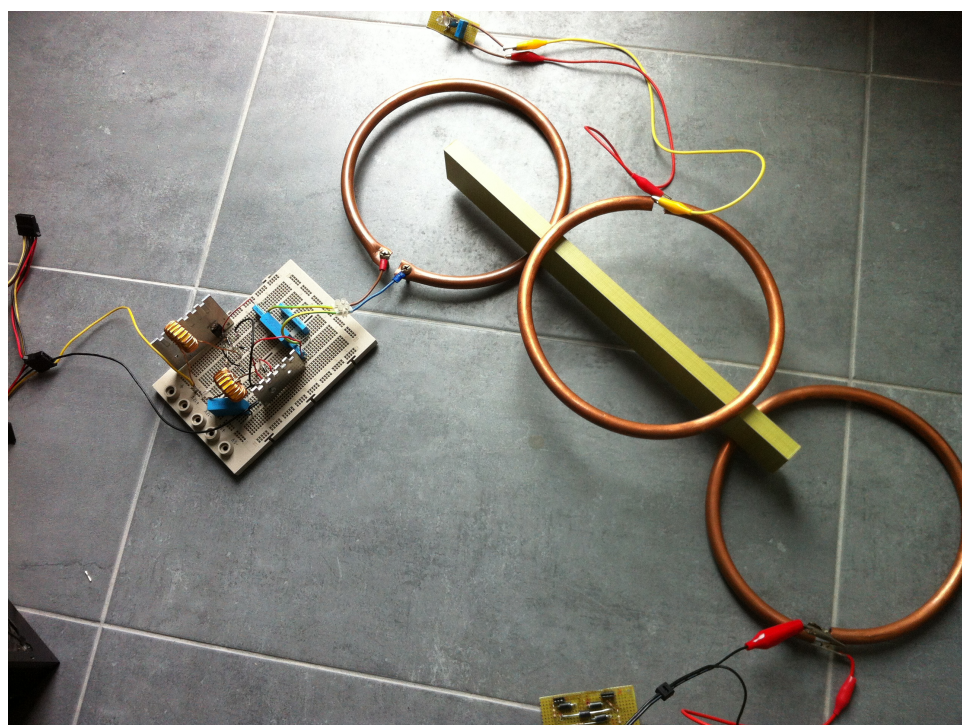


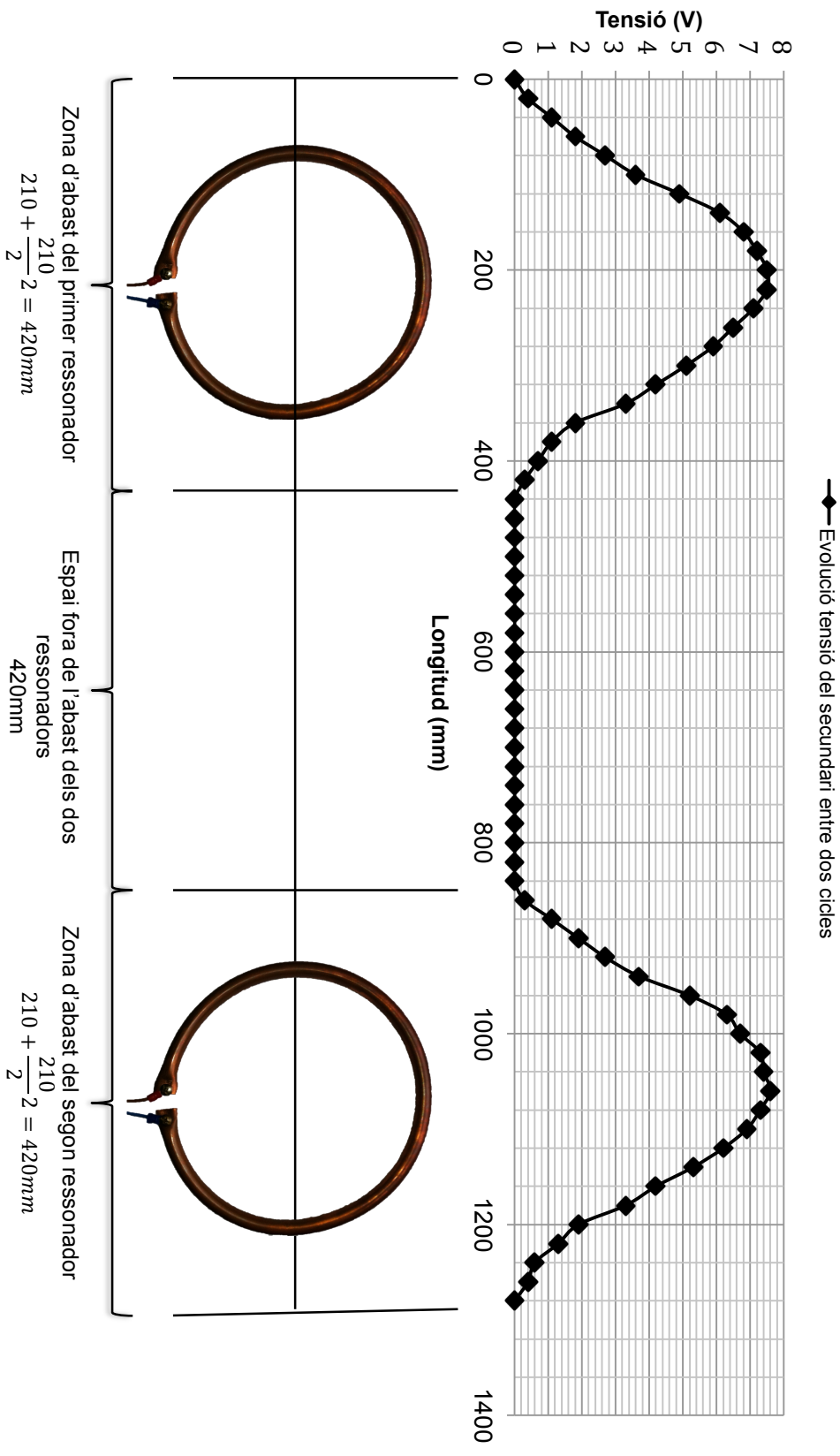
Figura 4. Experiment transferència per witricitat amb dos emissors i un receptor

D.4. Resultats experimentals

En aquest experiment es parteix del receptor fora de l'abast de l'emissor i es desplaça per sobre dels dos emissors, separats una distància de dues vegades el seu diàmetre, fins a col·locar-lo novament fora del seu abast però en el costat contrari. Aquest desplaçament coincideix amb el que faria el vehicle elèctric en el sistema de recàrrega, però a més petita escala i només amb una bobina d'emissió i recepció enlloc de quatre. Tot i això, és d'esperar que el comportament d'una de sola sigui el mateix.

Els valors de tensió adquirits amb el multimetre en funció de la posició del receptor són:

Evolució tensió secundari



Tal i com s'esperava, en les posicions on el centre de la bobina receptora està completament alineada amb el de la dels emissors, a 210 i 1050 mm, la tensió assoleix un punt màxim i l'eficiència en la transferència és màxima. Aquest fet és degut a que en aquestes posicions el camp magnètic

Encara que la tensió d'entrada sigui 12V i la de sortida en el seu punt màxim sigui de 7,6V, no significa que l'eficiència sigui la divisió, ja que l'energia que no es transmet es retorna a la bobina de l'emissor.

Si s'analitza la forma d'ona del desplaçament de l'emissor, aquesta és molt similar a la senyal obtinguda després d'un rectificador de mitja ona, on la senyal alterna queda filtrada i només es mantenen els semicicles positius d'aquesta. Per transformar aquesta ona en una senyal contínua, apta per connectar a la bateria, és necessari un filtre RC que aporti l'energia que no rep dels emissors quan transcorre pel tram en què aquests no estan instal·lats.

Les equacions que defineixen els valors del filtre RC a dimensionar són les del rectificador de mitja ona presents en l'apartat 3.4.8 de la memòria.

Cal esmentar que aquest experiment s'ha efectuat a velocitat zero, cada valor s'ha pres de forma estàtica. En les equacions del rectificador de mitja ona és necessari conèixer el valor del període T , que s'aconsegueix sabent la velocitat a la qual el receptor es mou.

$$T = \frac{3,6\Delta x}{v} \quad (\text{Eq. 2})$$

Essent:

T : Període, en s.

Δx : Espai recorregut entre mòduls emissors, en m.

v : Velocitat de l'emissor o vehicle, en km/h.

El dimensionat del rectificador d'ha detallat per a cada tipus de vehicle en l'apartat 3.2.8. de la memòria.