



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Estudi per a la certificació energètica de l'institut INS Manuel de Pedrolo de Tàrrrega

Document:

Memòria

Autor:

Eloi Sol Vilaplana

Director /Co-director:

Miquel Casals Casanova

Titulació:

Grau en enginyeria en tecnologies industrials

Convocatòria:

Primavera, 2021

TREBALL FINAL D'ESTUDIS



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA | ESEIAAT

Treball de fi de grau

Grau en enginyeria en tecnologies industrials

**Estudi per a la certificació energètica de
l'institut INS Manuel de Pedrolo de
Tàrrrega**

Memòria

Autor: Eloi Sol Vilaplana

Director: Miquel Casals Casanova

Data de lliurament: 21/06/2021

Agraïments

Aquest treball representa la fi d'una etapa. Representa la fi de quatre anys de creixement personal, acadèmic i professional i la culminació del grau en enginyeria en tecnologies industrials a l'ESEIAAT.

En primer lloc, m'agradaria dirigir un agraïment al professorat i als companys i companyes que he conegut al llarg d'aquests anys. Aquesta escola d'enginyeria no és tan sols una universitat, sinó una gran comunitat. He forjat amistats que sens dubte seguiran més enllà del món universitari.

Gràcies al Miquel, el tutor del treball, per acompanyar-me al llarg d'aquest projecte i assessorar-me sempre que ha estat necessari.

Gràcies al personal i al professorat de l'institut Manuel de Pedrolo per acollir-me amb els braços oberts quan els vaig plantejar la possibilitat de fer aquest estudi de certificació energètica. Especialment a la Mercè, al Ramon i a la Sílvia per ajudar-me a aconseguir la informació i deixar-me visitar presencialment l'institut totes les vegades que ho he necessitat.

Gràcies a la meva família. Als meus pares, a la meva germana i als meus avis. Gràcies per ser-hi sempre. Gràcies Judit per passar-me informació de l'institut de primera mà.

I, finalment, gràcies a tu, per interessar-te en llegir aquest estudi.

Declaració d'honor

Jo, Eloi Sol Vilaplana, autor d'aquest treball de fi de grau, declaro que:

El treball realitzat en aquest treball de fi de grau és completament obra meva, cap part d'aquest treball ha estat copiada d'altres persones sense donar-los crèdit i totes les referències han estat citades clarament.

Entenc que qualsevol infracció d'aquesta declaració em deixa sotmès a les accions disciplinàries previstes per la Universitat Politècnica de Catalunya – BarcelonaTECH.

Eloi Sol Vilaplana

Tàrraga, 21 de juny de 2021

Resum

En aquest treball s'ha realitzat la certificació energètica de l'institut INS Manuel de Pedrolo de Tàrraga amb el programa CE3X. S'han fet dues certificacions, una de simplificada i una altra d'exhaustiva. Amb els resultats obtinguts, s'han plantejat diverses mesures per a millorar la qualificació energètica obtinguda i el comportament energètic de l'edifici.

S'ha analitzat la viabilitat ambiental, energètica, tècnica, econòmica i temporal de les diferents mesures proposades. D'entre totes elles, n'hi ha quatre que han resultat viables: canviar la potència contractada, canviar el sistema d'il·luminació actual per llums LED, instal·lar un sistema d'autoconsum per mitjà de plaques solars fotovoltaïques i instal·lar una caldera de biomassa.

Abstract

In this bachelor thesis, an energy certification of the high school INS Manuel de Pedrolo in Tàrraga has been realized. Two certifications have been made: one simplified and the other exhaustive. With the obtained results, different improvement measures have been proposed to improve the obtained energy qualification and the building energy performance.

The environmental, energetic, technical, economic, and temporal feasibility of the different measures has been analysed. Four of them have proved workable: changing the contracted power, changing the lighting system to LED lighting, installing a self-consumption system with photovoltaic solar panels and installing a biomass boiler.

Índex

Resum	I
Abstract	I
Índex	II
Índex de taules	VI
Índex de figures	VIII
Llista de sigles	XI
1 Introducció	1
1.1 Objecte	1
1.2 Abast	1
1.3 Requeriments.....	1
1.4 Justificació i utilitat	1
2 Introducció teòrica i estat de l'art	3
2.1 Què és la certificació energètica?	3
2.1.1 Certificat energètic	3
2.1.2 Etiqueta energètica	4
2.2 Normativa.....	4
2.2.1 Legislació europea i espanyola	4
2.2.2 Obligatorietat certificat d'eficiència energètica	5
2.3 Eines de certificació	5
2.4 Estat actual	6
2.4.1 Espanya	6
2.4.1.1 Edificis existents.....	6
2.4.1.2 Edificis d'obra nova.....	8
2.4.2 Catalunya.....	10
3 L'institut Manuel de Pedrolo	12
3.1 Ubicació i cadastre	12
3.2 Orientació i façanes	13
3.3 Distribució interna	17
3.3.1 Institut	17
3.3.1.1 Nivell 0,00 i -1,65.....	18
3.3.1.2 Nivell +3,30.....	19
3.3.2 Gimnàs	20
3.3.3 Pista esportiva i pati.....	21
3.3.4 Superfície útil habitable i altura mitja ponderada	21
3.4 Envolupant tèrmica.....	21
3.4.1 Cobertes.....	22

3.4.2	Murs	22
3.4.2.1	Murs en contacte amb el terreny	23
3.4.2.2	Façanes	24
3.4.3	Terres.....	24
3.4.4	Particions interiors.....	25
3.4.4.1	Sala de calderes	26
3.4.4.2	Ascensor	26
3.4.4.3	Patis interiors.....	26
3.4.4.4	Sala d'aigües.....	28
3.4.4.5	Magatzems gimnàs	28
3.4.4.6	Sostres edifici principal	28
3.4.5	Finestres i portes.....	29
3.4.6	Pont tèrmic	30
3.5	Instal·lacions	31
3.5.1	Calefacció i ACS	31
3.5.2	Refrigeració	33
3.5.3	Energies renovables	33
3.5.4	Instal·lació elèctrica.....	34
3.5.5	Il·luminació	34
3.5.6	Equips de bombeig	36
3.6	Consums.....	37
3.6.1	Electricitat	37
3.6.2	Gas natural.....	41
3.6.3	Aigua.....	44
4	Certificacions energètiques	47
4.1	Certificació simplificada.....	47
4.2	Certificació exhaustiva	49
4.2.1	Canvis aplicats.....	49
4.2.1.1	Noves mesures.....	49
4.2.1.2	Patrons d'ombres	52
4.2.1.3	Propietats tèrmiques	52
4.2.1.4	Pavès, finestres i portes.....	53
4.2.2	Resultats certificació.....	54
4.2.2.1	Comparació entre les dues certificacions	55
4.3	Comparació consums i certificació exhaustiva	56
4.3.1	Calefacció.....	57
4.3.2	Refrigeració	59
4.3.3	ACS.....	59
4.3.4	Il·luminació	59

5	Mesures de millora	61
5.1	Cobrir les façanes amb SATE.....	61
5.1.1	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	62
5.1.2	Canvi en les emissions i estalvi energètic	63
5.1.3	Anàlisi econòmic	64
5.2	Instal·lar una caldera de biomassa	64
5.2.1	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	64
5.2.2	Canvi en les emissions i estalvi energètic	66
5.2.3	Anàlisi econòmic	67
5.3	Instal·lar calderes de condensació	68
5.3.1	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	68
5.3.2	Canvi en les emissions i estalvi energètic	68
5.3.3	Anàlisi econòmic	69
5.4	Substituir la il·luminació actual amb tecnologia LED	69
5.4.1	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	70
5.4.2	Canvi en les emissions i estalvi energètic	71
5.4.3	Anàlisi econòmic	72
5.5	Instal·lar plaques solars per autoconsum	72
5.5.1	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	73
5.5.1.1	Càlcul potència fotovoltaica preliminar	73
5.5.1.2	Número de mòduls preliminar i pèrdues	75
5.5.1.3	Número de mòduls definitiu i selecció de l'inversor.....	77
5.5.1.4	Connexió de les plaques solars a l'inversor	78
5.5.1.4	Ubicació a la coberta	78
5.5.1.5	Altres elements	80
5.5.1.6	Cost final	80
5.5.2	Canvi en les emissions i estalvi energètic	80
5.5.3	Anàlisi econòmic	81
5.6	Canviar la potència contractada.....	82
5.6.1	Tarifa 3.0A i tarifa 3.0TD.....	83
5.6.2	Tria del terme de potència adequat	84
5.6.2.1	Edifici principal	84
5.6.2.2	Gimnàs	85
5.6.3	Anàlisi tècnic i cost d'inversió.....	87
5.6.4	Canvi en les emissions i estalvi energètic	87
5.6.5	Anàlisi econòmic	87
5.7	Hàbits de consum	88
6	Resultats	89
6.1	Anàlisi resultats	89

6.2	Accions futures.....	90
7	Conclusions	92
8	Referències	93

Índex de taules

Taula 1. Eines de certificació homologades pel MITECO ^[9]	5
Taula 2. Número de certificats registrats a Espanya fins desembre de 2019 ^[10]	6
Taula 3. Dades qualificació energètica (consums) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10]	7
Taula 4. Dades qualificació energètica (emissions) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10]	8
Taula 5. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10]	8
Taula 6. Dades qualificació energètica (emissions) dels edificis d'obra nova fins desembre de 2019 ^[10]	9
Taula 7. Superfície, orientació i projecció d'ombres de les façanes de l'institut (font pròpia).	15
Taula 8. Superfície, orientació i projecció d'ombres de les façanes del gimnàs i els vestidors (font pròpia).	16
Taula 9. Superfícies i espais plantes 0 i -1 (font pròpia).	19
Taula 10. Superfícies i espais planta 1 (font pròpia).	20
Taula 11. Superfícies i espais gimnàs (font pròpia).	20
Taula 12. Dades cobertes (font pròpia).	22
Taula 13. Dades rellevants terres (font pròpia).	25
Taula 14. Portes i finestres de vidre edifici principal (font pròpia).	30
Taula 15. Portes i finestres de vidre gimnàs (font pròpia).	30
Taula 16. Equips d'il·luminació (font pròpia).	35
Taula 17. Equips de bombeig (font pròpia).	36
Taula 18. Consum i import electricitat any 2018 (parcial) (font: factures).	38
Taula 19. Consum i import electricitat any 2019 (font: factures).	39
Taula 20. Consum i import electricitat any 2020 (font: factures).	40
Taula 21. Consum i import electricitat any 2021 (parcial) (font: factures).	40
Taula 22. Càlcul consum inicial i final d'electricitat (gener 2020) (font pròpia).	40
Taula 23. Càlcul mitjana dels consums i imports mensuals d'electricitat (font pròpia).	41
Taula 24. Consum i import gas natural (font: factures).	42
Taula 25. Càlcul mitjana del consum mensual de gas (font pròpia).	43
Taula 26. Càlcul mitjana de l'import mensual de gas (font pròpia).	43
Taula 27. Volum i import trimestrals del consum d'aigua dels anys 2019 i 2020 (font: factures).	44
Taula 28. Altures mesurades (font pròpia).	49
Taula 29. Definició “retranqueos” (font pròpia).	51
Taula 30. Definició voladís (font pròpia).	51
Taula 31. Descripció façanes (font pròpia).	53
Taula 32. Portes no considerades a la certificació simplificada (font pròpia).	54
Taula 33. Conversió energia primària a energia secundària (font pròpia).	56
Taula 34. Consum mensual i HDD (font pròpia).	57
Taula 35. Càlcul cost total SATE (font pròpia).	63
Taula 36. Detall resultats instal·lació SATE (font: CE3X).	64
Taula 37. Càlcul cost total caldera biomassa (font pròpia).	66
Taula 38. Detall resultats instal·lació biomassa (font: CE3X).	67
Taula 39. Càlcul cost total calderes condensació (font pròpia).	68
Taula 40. Detall resultats instal·lació condensació (font: CE3X).	69
Taula 41. Càlcul cost total il·luminació LED (font pròpia).	71
Taula 42. Comparació il·luminació abans i després de la millora (font pròpia).	71
Taula 43. Càlcul cost total instal·lació solar fotovoltaica (font pròpia).	80
Taula 44. Dades anàlisi econòmic (font pròpia).	82
Taula 45. Historial màximes en kW (font: factures).	82
Taula 46. Distribució horària tarifa 3.0TD (font pròpia).	84

Taula 47. Valors mínims i màxims maxímetre edifici principal (font pròpia).....	85
Taula 48. Valors mínims i màxims maxímetre gimnàs (font pròpia).....	86
Taula 49. Termes de potència nou sistema tarifari ^[72]	87
Taula 50. Resum resultats (font pròpia).....	89

Índex de figures

Figura 1. Model de certificat d'eficiència energètica ^[4]	3
Figura 2. Exemple d'etiqueta de qualificació energètica d'un edifici ^[5]	4
Figura 3. Certificació d'edificis existents a Espanya (2013 - 2019) ^[10]	7
Figura 4. Distribució qualificació energètica (consums) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10]	7
Figura 5. Certificació d'edificis d'obra nova a Espanya (2013 - 2019) ^[10]	9
Figura 6. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis d'obra nova fins desembre de 2019 ^[10]	9
Figura 7. Certificats segons la seva qualificació d'eficiència energètica a Catalunya (juny 2020) ^[11]	10
Figura 8. Distribució qualificació energètica (consums) dels edificis a Catalunya fins juny de 2020 (font pròpia).	10
Figura 9. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis a Catalunya fins el juny de 2020 (font pròpia).	11
Figura 10. Qualificacions d'eficiència energètica segons la normativa a Catalunya ^[11]	11
Figura 11. Ubicació institut (font pròpia).	12
Figura 12. Parcel·la de l'institut ^[12]	12
Figura 13. Situació parcel·la institut (font: plànols).	13
Figura 14. Orientació façanes principals (font pròpia).	13
Figura 15. Façana sud-est (font: plànols).	14
Figura 16. Façana sud-oest (font: plànols).	14
Figura 17. Façana nord-oest (font: plànols).	14
Figura 18. Façana nord-est (font: plànols).	14
Figura 19. Parts de l'institut (font pròpia).	17
Figura 20. Façana nord-est edifici principal (font: plànols).	17
Figura 21. Secció institut vista nord-est (font: plànols).	17
Figura 22. Plànol nivells 0,00 i -1,65 (font: plànols).	18
Figura 23. Canvi distribució aules per la reforma de 2017 (font pròpia).	18
Figura 24. Plànol nivell +3,30 (font: plànols).	20
Figura 25. Plànol gimnàs (font: plànols).	21
Figura 26. Tipus de cobertes: enterrades (esquerra) o en contacte amb l'aire (dreta) (font: CE3X).	22
Figura 27. Secció edifici principal (font: plànols).	22
Figura 28. Tipus de murs: contacte amb terreny (esquerra), façana (mig) o contacte amb un altre edifici (dreta) (font: CE3X).	23
Figura 29. Murs en contacte amb el terreny institut SE (font pròpia).	23
Figura 30. Mur en contacte amb el terreny gimnàs SO (font pròpia).	24
Figura 31. Murs en contacte amb el terreny gimnàs SE (font pròpia).	24
Figura 32. Tipus de terres: en contacte amb el terreny (esquerra) o en contacte amb l'aire (dreta) (font: CE3X).	25
Figura 33. Tipus de particions interiors: vertical (esquerra), horitzontal amb espai NH superior (mig) i horitzontal amb espai NH inferior (dreta) (font: CE3X).	25
Figura 34. Secció vertical forat ascensor (font: plànols).	26
Figura 35. Distribució patis interiors (font: plànols).	26
Figura 36. Pati número 1 (font: plànols).	27
Figura 37. Pati número 2 (font: plànols).	27
Figura 38. Pati número 3 (font: plànols).	27
Figura 39. Murs en contacte amb els magatzems (font pròpia).	28
Figura 40. Secció de l'edifici principal on es poden veure els espais sota les cobertes (font: plànols).	28
Figura 41. Calderes de gas natural (font pròpia).	31

Figura 42. Col·lector i sis circuits de la instal·lació (font pròpia).....	31
Figura 43. Acumulador ACS cuina i cafeteria (font pròpia).....	32
Figura 44. Acumuladors gimnàs (font pròpia).....	32
Figura 45. Equip d'aire condicionat petit (consergeria, secretaria i direcció) (font pròpia).....	33
Figura 46. Equip d'aire condicionat gran (biblioteca i sala de professors) (font pròpia).....	33
Figura 47. Vista de la coberta del gimnàs amb els col·lectors solars ^[17]	33
Figura 48. Focus sala d'actes: 3 tipus A (esquerra), 2 tipus B (mig) i 6 tipus C (dreta) (font pròpia).	34
Figura 49. Distribució potència segons tipus d'il·luminació (font pròpia).....	35
Figura 50. Consum mensual d'electricitat i gas (font pròpia).....	37
Figura 51. Consum mensual mitjà d'electricitat (font pròpia).....	41
Figura 52. Consum mensual mitjà de gas natural (font pròpia).....	44
Figura 53. Consum trimestral d'aigua (font pròpia).....	45
Figura 54. Dades administratives CE3X (font: CE3X).....	47
Figura 55. Dades generals CE3X (font: CE3X).....	47
Figura 56. Envoltant tèrmica CE3X (font: CE3X).....	48
Figura 57. Instal·lacions CE3X (font: CE3X).....	48
Figura 58. Resultats certificació simplificada (font: CE3X).....	48
Figura 59. Aula amb els llums encesos i les finestres tancades (font pròpia).....	50
Figura 60. Finestres façana SO (font pròpia).....	50
Figura 61. Esquema “retranqueo” (esquerra) i voladís (dreta) (font: CE3X).....	50
Figura 62. Porxo entrada (font pròpia).....	51
Figura 63. Detall voladís façana NE (font pròpia).....	51
Figura 64. Pavès escales (font pròpia).....	53
Figura 65. Porta Batxillerat (esquerra) i sala de professors (dreta) no definides als plànols (font pròpia).....	54
Figura 66. Resultats certificació exhaustiva (font: CE3X).....	55
Figura 67. Comparació resultats certificacions (font pròpia).....	55
Figura 68. Consum gas i HDD al llarg de l'any (font pròpia).....	58
Figura 69. Recta de regressió consum gas i HDD (font pròpia).....	58
Figura 70. Edifici abans i després de l'aplicació del SATE ^[34]	61
Figura 71. Esquema SATE ^[37]	62
Figura 72. Resultats CE3X instal·lació SATE (font: CE3X).....	63
Figura 73. Fotografies sala de calderes (font pròpia).....	65
Figura 74. Possible ubicació dipòsit de pellets (font pròpia).....	65
Figura 75. Resultats CE3X instal·lació biomassa (font: CE3X).....	66
Figura 76. Resultats CE3X instal·lació condensació (font: CE3X).....	69
Figura 77. Resultats CE3X il·luminació LED (font: CE3X).....	71
Figura 78. Esquema instal·lació fotovoltaica d'autoconsum connectada a la xarxa ^[54]	73
Figura 79. Comparativa distribució consum electricitat (font pròpia).....	73
Figura 80. Interpretació gràfica de l'hora solar pic ^[57]	74
Figura 81. Irradiació solar mensual horitzontal a l'institut ^[58]	75
Figura 82. Angle d'inclinació coberta SE (font pròpia).....	76
Figura 83. Percentatge d'energia aprofitat en funció dels angles d'orientació i d'elevació ^[63]	76
Figura 84. Patró d'ombres SE (font pròpia).....	76
Figura 85. Zones de pèrdues causades per ombres ^[63]	77
Figura 86. Superposició diagrames (font pròpia).....	77
Figura 87. Esquema placa solar Ja Solar 380 W monocristal·lina ^[60]	79
Figura 88. Distribució plaques coberta (font pròpia).....	79
Figura 89. Simulació plaques sobre coberta (font pròpia).....	79
Figura 90. Estructura proposada ^[65]	80
Figura 91. Distribució de costos sistema d'energia solar fotovoltaica ^[66]	80
Figura 92. Resultats CE3X instal·lació solar fotovoltaica (font: CE3X).....	81
Figura 93. Distribució horària tarifa 3.0A (font pròpia).....	83
Figura 94. Distribució horària tarifa 2.0TD (font pròpia).....	86

Figura 95. Gràfic mesures de millora (font pròpia)	89
Figura 96. Nou gràfic mesures de millora (payback menor a 40 anys) (font pròpia).....	90

Llista de sigles

ACA. Agència Catalana de l'Aigua

CTE. Codi Tècnic de l'Edificació

DUCA. Declaració de l'Ús i la Contaminació de l'Aigua

HDD. Heating Degree Days

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía

IVE. Institut Valencià de l'Edificació

MITECO. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

MPPT. Maximum Power Point Tracking

PERC. Passivated Emitter Rear Cell

SATE. Sistema d'Aïllament Tèrmic Exterior

1 Introducció

1.1 Objecte

L'objecte d'aquest estudi és certificar energèticament un edifici, en aquest cas l'institut INS Manuel de Pedrolo de Tàrraga. També es plantejaran possibles millores per tal d'estalviar energia i aconseguir un consum més eficient.

1.2 Abast

- Contacte amb l'institut i recollida de tota la informació necessària (consums, plànols, projectes...).
- Estat de l'art de la certificació energètica d'edificis i de diferents sistemes d'eficiència energètica.
- Certificació energètica de l'institut amb el programa CE3X. Es faran tres certificacions: una certificació inicial simplificada, una certificació inicial exhaustiva i una certificació final amb les noves mesures proposades.
- Anàlisi dels consums de l'edifici i comparació amb les certificacions energètiques inicials.
- Proposta de mesures per a estalviar energia i millorar la certificació energètica.
- Estudi de viabilitat tècnica, econòmica, temporal i ambiental de les diferents mesures proposades.
- Recomanacions, planificació i programació del treball futur.
- Elaboració i redacció dels documents necessaris: memòria, annexos, Project Charter i pressupostos.

1.3 Requeriments

- Realitzar els certificats d'eficiència energètica amb el programa CE3X.
- Les mesures de millora proposades hauran de ser viables en el temps i des dels punts de vista tècnic, econòmic i ambiental.
- La informació introduïda al CE3X s'obtindrà dels documents i la informació obtinguda de l'institut. En cas que falti alguna dada s'utilitzaran les dades per defecte proporcionades pel programa o bé es realitzaran estimacions.
- La certificació de l'edifici es limita a l'institut Manuel de Pedrolo de Tàrraga, compost per l'edifici principal i el gimnàs.

1.4 Justificació i utilitat

La societat actual, basada en un consum il·limitat i un creixement sense fre, es topa amb uns recursos limitats i uns problemes mediambientals que són cada vegada més irreversibles. És responsabilitat de tots utilitzar amb moderació aquests recursos i ser respectuosos amb el medi ambient, a fi de pal·liar els efectes de la contaminació i del canvi climàtic.

El sector de l'edificació suposa al voltant del 30% del consum energètic de l'estat espanyol. Concretament, l'any 2018 el sector terciari (comerços, serveis i administracions públiques) era responsable del 12,4% del consum total^[1]. En aquest grup hi trobem els centres educatius.

Moltes escoles i instituts, a causa de la seva antiguitat i grans dimensions, tenen un consum energètic molt poc eficient. Estudiar el consum d'un centre educatiu i certificar-lo energèticament permetria trobar millores que es podrien implementar per a millorar dràsticament el seu comportament energètic.

He decidit enfocar aquest estudi a l'institut INS Manuel de Pedrolo de Tàrraga, centre on vaig estudiar la secundària. Aquest treball de fi de grau no és tan sols un estudi teòric, sinó que també té

una aplicació real. Podré certificar energèticament un institut i proposar diferents millores, les quals implicaran un important estalvi econòmic, una reducció del consum energètic i, en conseqüència, una reducció de l'impacte ambiental de l'edifici.

2 Introducció teòrica i estat de l'art

2.1 Què és la certificació energètica?

La certificació energètica d'edificis és un procés pel qual s'atorga una qualificació energètica a un edifici. Aquesta qualificació és el resultat del càlcul del consum d'energia d'un edifici necessari per a satisfer la seva demanda en condicions normals de funcionament i ocupació.

Mitjançant aquest procés s'obté un certificat energètic, document que verifica la qualificació energètica obtinguda, i una etiqueta energètica, un distintiu que assenyalava el nivell de qualificació d'eficiència energètica [2].

Tant el certificat d'eficiència energètica com l'etiqueta energètica poden realitzar-se d'un edifici sencer o d'una part del mateix [3].

2.1.1 Certificat energètic

A partir d'aquest certificat obtenim la qualificació energètica de l'edifici en qüestió, ja sigui nou o existent. Aquesta s'expressa en emissions de CO₂ [kg CO₂/(m²·any)] emeses a l'atmosfera com a conseqüència del consum energètic [kWh/(m²·any)] [3].

Aquest document conté dades de l'edifici, el procediment de certificació, el tècnic i la normativa d'estalvi i eficiència energètica quan es va construir, les característiques energètiques de l'edifici, la seva qualificació energètica detallada en diferents àmbits i, en el cas d'edificis existents, recomanacions amb mesures per a millorar la qualificació energètica.

El certificat té una validesa màxima de 10 anys, moment en què és necessari renovar-lo [2].

CERTIFICADO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EXISTENTES							
IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO O DE LA PARTE QUE SE CERTIFICA:							
Nombre del edificio							
Dirección							
Municipio		Código Postal					
Provincia		Comunidad Autónoma					
Zona climática		Año construcción					
Normativa vigente (construcción / rehabilitación)							
Referencia/s catastral/es							
Tipo de edificio o parte del edificio que se certifica:							
<input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Unifamiliar <input type="checkbox"/> Bloque <input type="checkbox"/> Bloque completo <input type="checkbox"/> Vivienda individual		<input type="checkbox"/> Terciario <input type="checkbox"/> Edificio completo <input type="checkbox"/> Local					
DATOS DEL TÉCNICO CERTIFICADOR:							
Nombre y Apellidos		NIF					
Razón social		CIF					
Domicilio							
Municipio		Código Postal					
Provincia		Comunidad Autónoma					
e-mail:							
Titulación habilitante según normativa vigente							
Procedimiento reconocido de calificación energética utilizado y versión:							
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA OBTENIDA:							
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO₂/m²·año]</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>				CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ /m ² ·año]			
CALIFICACIÓN ENERGÉTICA GLOBAL EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO [kgCO ₂ /m ² ·año]							
El técnico certificador abajo firmante certifica que ha realizado la calificación energética del edificio o de la parte que se certifica de acuerdo con el procedimiento establecido por la normativa vigente y que son ciertos los datos que figuran en el presente documento, y sus anexos: Fecha: ___/___/___ Firma del técnico certificador: Anexo I. Descripción de las características energéticas del edificio. Anexo II. Calificación energética del edificio. Anexo III. Recomendaciones para la mejora de la eficiencia energética. Anexo IV. Pruebas, comprobaciones e inspecciones realizadas por el técnico certificador. Registro del Órgano Territorial Competente: Fecha Ref. Catastral: XX/XX/XXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Página X de X							

Figura 1. Model de certificat d'eficiència energètica [4].

2.1.2 Etiqueta energètica

En aquest distintiu es mesura la qualificació energètica en una escala que va de la A a la G, sent A la màxima eficiència i G la mínima. S'hi assenyalen els valors i els nivells de qualificació (lletres) del consum d'energia [kWh/(m²·any)] i de les emissions de diòxid de carboni [kg CO₂/(m²·any)].

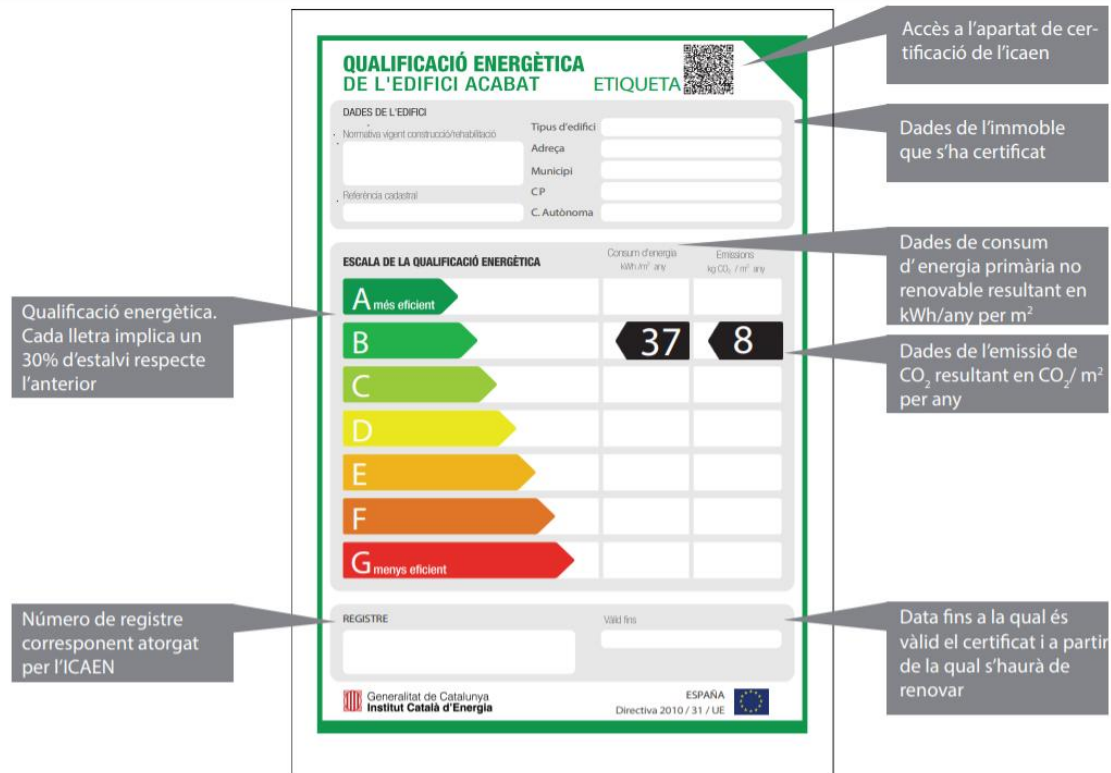


Figura 2. Exemple d'etiqueta de qualificació energètica d'un edifici [5].

2.2 Normativa

2.2.1 Legislació europea i espanyola

En l'àmbit comunitari de la Unió Europea, la legislació relativa a la certificació energètica d'edificis els últims anys ve definida de la següent manera:

- Directiva 2002/91/CE, del Parlament Europeu i el Consell, de 16 de desembre de 2002, relativa a l'eficiència energètica dels edificis.
- Directiva 2010/31/UE, del Parlament Europeu i el Consell, de 19 de maig de 2010, relativa a l'eficiència energètica dels edificis. Modifica l'anterior Directiva 2002/91/CE.

I en l'àmbit estatal tenim:

- Reial Decret 47/2007, de 19 de gener de 2007, pel qual s'aprova el procediment bàsic per a la certificació energètica d'edificis de nova construcció. En aquest decret s'hi traslladen les exigències relatives a la certificació energètica d'edificis descrites a la Directiva 2002/91/CE.
- Reial Decret 235/2013, de 5 d'abril de 2013, pel qual s'aprova el procediment bàsic per a la certificació de l'eficiència energètica dels edificis. Es publica el 13 d'abril al BOE. Aquest decret deroga el Reial Decret 47/2007, transposa la Directiva 2002/91/CE i transposa parcialment la Directiva 2010/31/UE. La seva aplicació és voluntària fins l'1 de juny de 2013, quan esdevé obligatòria.

- Reial Decret 546/2017, de 2 de juny de 2017, que modifica el Reial Decret 235/2013 i aprova el procediment bàsic per a la certificació energètica d'edificis ^[6, 7].

2.2.2 Obligtorietat certificat d'eficiència energètica

Segons la legislació vigent, els edificis que han de tenir de manera obligatòria un certificat d'eficiència energètica són:

- Els edificis o parts d'edificis de nova construcció.
- Els edificis o parts d'edificis existents que es venguin o lloguin a un nou arrendatari.
- Els edificis o parts d'edificis en els què una entitat pública ocupi una superfície útil superior a 250 m² i que siguin freqüentats habitualment pel públic.

Tot i així, no formen part d'aquesta llista els edificis:

- Protegits oficialment per un valor arquitectònic o històric.
- Utilitzats com a lloc de culte.
- Construïts provisionalment.
- Industrials, de la defensa i agrícoles.
- Amb una superfície total inferior a 50 m².
- Que es comprin per a reformes importants o per a enderrocar-se.
- Amb una baixa utilització ^[2].

2.3 Eines de certificació

La certificació energètica d'un edifici és realitzada per un tècnic qualificat utilitzant la darrera versió dels programes homologats pel MITECO ^[8].

Procediment	Tipus d'obra	Ús de l'edifici	Eines reconegudes
General	Obra nova i edificis existents	Habitatges i terciari	HULC
			CYPETHERM
			SG SAVE
Simplificat	Obra nova i edificis existents	Habitatges i terciari	CE3X (petit terciari)
		Habitatges	CERMA
	Edificis existents	Habitatges i terciari	CE3

Taula 1. Eines de certificació homologades pel MITECO ^[9].

El procediment general per a la certificació energètica d'edificis en projecte, acabats i existents considera els següents programes:

- **Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC).** Programa informàtic de referència i d'iniciativa pública per a certificar habitatges i edificis terciaris.
- **CYPETHERM HE Plus.** Programa informàtic d'iniciativa privada per a certificar habitatges i edificis terciaris.
- **SG SAVE.** Programa informàtic d'iniciativa privada per a certificar habitatges i edificis terciaris.

Pel que fa al procediment simplificat, tenim:

- **CE3X.** Programa informàtic d'iniciativa pública per a la certificació energètica d'habitatges i edificis terciaris existents. Disposa d'un complement per a poder certificar edificis nous (habitatges i terciaris petits o mitjans).
- **CERMA.** Programa informàtic d'iniciativa privada per a la certificació energètica d'habitatges.
- **CE3.** Programa informàtic d'iniciativa pública per a la certificació energètica d'habitatges i edificis terciaris existents.

Per a la certificació energètica de l'institut INS Manuel de Pedrolo utilitzaré el programa CE3X.

2.4 Estat actual

Faré un breu anàlisi de l'estat actual de la certificació energètica d'edificis a Espanya i a Catalunya.

2.4.1 Espanya

Les dades més recents a nivell estatal es troben al vuitè informe de l'*Estado de la certificación energética de edificios* ^[10], de desembre de 2019 i elaborat per l'IDAE.

Comunitat autònoma	Certificats edificis d'obra nova	Certificats edificis existents
Andalusia	9.939	559.229
Aragó	319	85.143
Principat d'Astúries	510	50.949
Illes Balears	1.439	112.733
País Basc	1.739	138.717
Canàries	2.453	147.258
Cantàbria	88	37.744
Castella – la Manxa	1.735	86.473
Castella i Lleó	1.315	138.412
Catalunya	8.238	1.033.586
Extremadura	8.074	30.863
Galícia	3.390	165.891
Comunitat de Madrid	4.389	666.619
Regió de Múrcia	2.731	104.378
Navarra	2.031	51.733
La Rioja	302	30.766
País Valencià	27.316	652.632
Ceuta	20	1.031
Melilla	-	-
TOTAL	76.028	4.094.157

Taula 2. Número de certificats registrats a Espanya fins desembre de 2019 ^[10].

El desembre de 2019 a Espanya s'havien registrat un total de 4.170.185 certificats d'eficiència energètica d'edificis complets i parts d'edificis, tant d'obra nova com existents. Les dades de Ceuta són de l'1 de juliol de 2017 i de Melilla no hi ha dades.

2.4.1.1 Edificis existents

Des de 2013, la certificació energètica d'edificis existents ha anat en augment. A la *Figura 3* veiem com, des de 2014 el creixement ha estat sostingut. Les dades del gràfic són acumulatives.

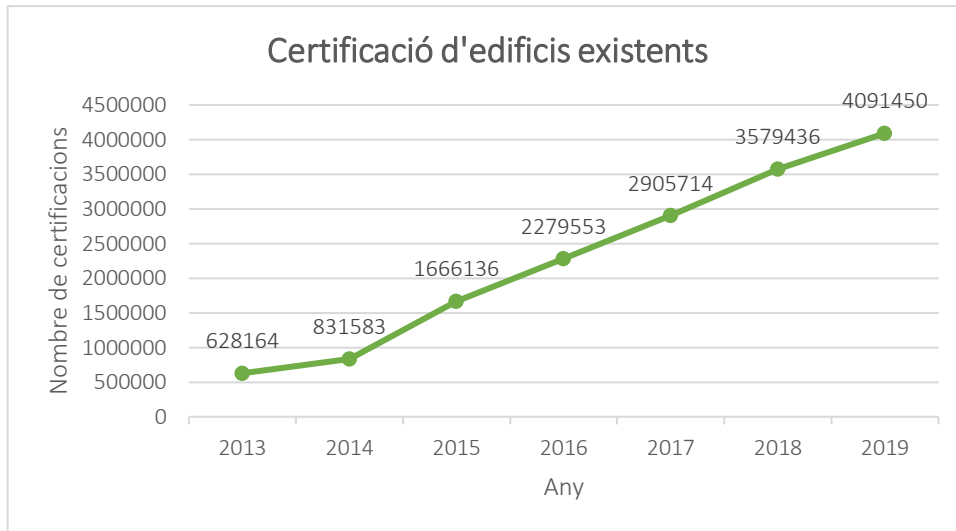


Figura 3. Certificació d'edificis existents a Espanya (2013 - 2019) ^[10].

Pel que fa a la qualificació energètica en consums, les dades per comunitats autònomes es poden consultar a la *Taula 3*. La *Figura 4* ens mostra la distribució.

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	
ANDALUCIA	999	5 026	21 390	57 587	304 800	55 486	113 941	559 229
ARAGÓN	134	413	3 082	9 332	47 276	9 751	15 155	85.143
ASTURIAS	139	302	1 848	5 856	24 303	5 581	12 920	50 949
CANARIAS	1 109	2 426	3 624	4 614	15 015	5 945	54 795	87 528
CATALUÑA	1 626	7 178	40 183	101 546	529 825	125 067	228 161	1 033 586
C LEON	1 036	1 015	6 007	19 568	77 793	15 377	17 615	138 411
C MANCHA	148	430	2 433	9 676	47 632	11 686	14 466	86 471
EXTREMADURA*	32	149	1 020	3 545	18 078	3 629	4 054	30 507
GALICIA	516	1 326	8 025	21 513	81 243	19 135	34 133	165 891
MURCIA	37	286	1 675	6 131	38 707	7 378	12 038	66 252
NAVARRA	81	178	2 466	8 674	28 259	5 812	6 263	51 733
PAIS VASCO	105	134	420	12 963	65 274	20 287	39 534	138 717
RIOJA	92	135	1 141	4 241	18 890	3 341	2 926	30 766
VALENCIA	485	4 198	17 127	55 142	361 324	68 519	145 716	652 511
MADRID	937	3 423	23 246	86 169	257 233	64 893	102 391	538 292
CANTABRIA	66	178	1 148	3 938	20 200	4 505	7 461	37 496
CEUTA	0	5	87	87	538	62	252	1 031
TOTALES	7 542	26 802	134 922	410 582	1 936 390	426 454	811 821	3 754 513

Taula 3. Dades qualificació energètica (consums) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10].

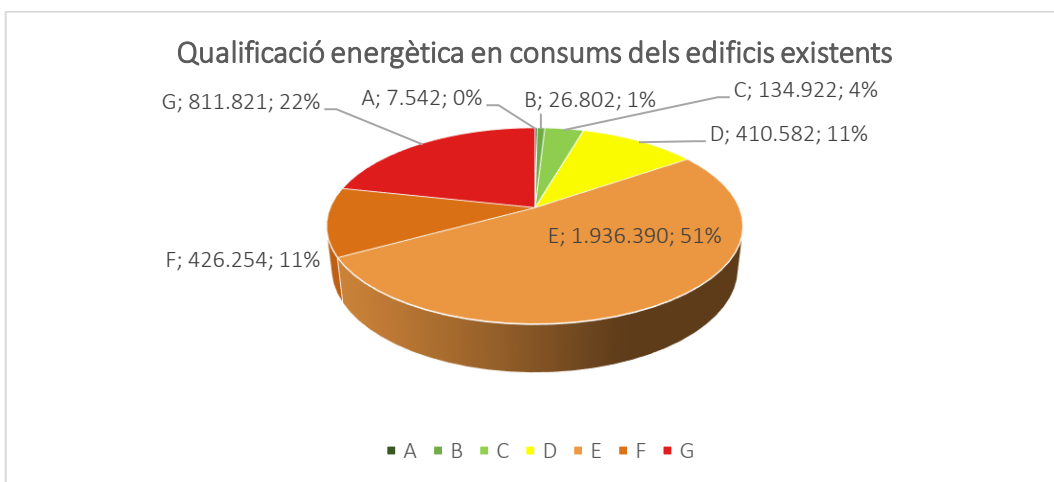


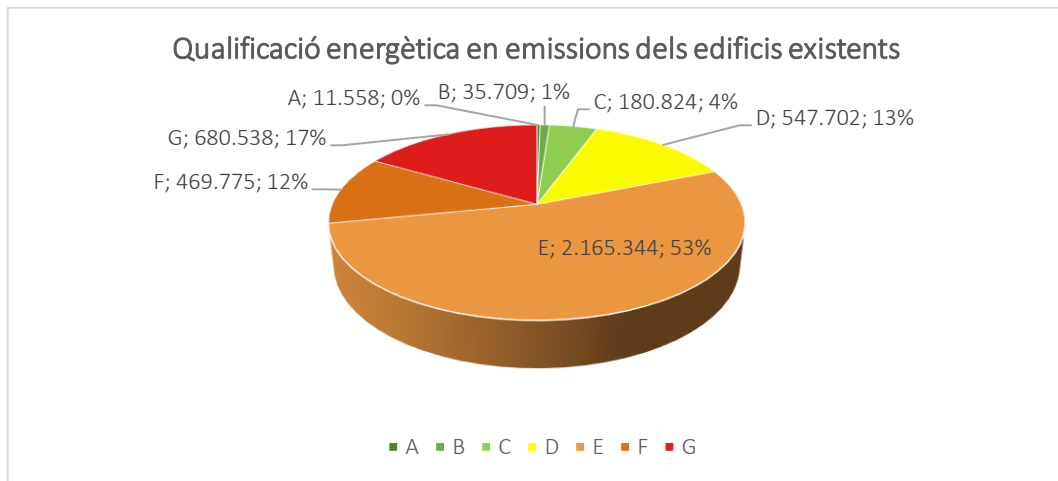
Figura 4. Distribució qualificació energètica (consums) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10].

Els edificis amb una bona qualificació són una minoria: les categories A, B i C juntes sumen tan sols un 5% del total. Les qualificacions E, F i G són les majoritàries, sent la E la més comuna (un 51% del total).

Les dades de les qualificacions energètiques tenint en compte les emissions poden consultar-se a la *Taula 4*. La *Figura 5* ens mostra la distribució.

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	
ANDALUCIA	1 296	6 252	29 105	83 855	316 493	49 586	72 642	559 229
ARAGÓN	213	572	2 044	11 580	47 177	10 045	11 495	83126.017
ASTURIAS	296	353	2 068	7 043	22 504	6 677	12 008	50 949
BALEARES	316	1 236	4 152	10 436	46 396	15 110	35 087	112 733
CANARIAS	1 633	3 701	6 228	8 225	27 024	12 329	88 118	147 258
CATALUÑA	2 433	8 694	50 123	126 407	540 224	134 235	171 470	1 033 586
C LEON	1 566	1 279	7 725	22 657	73 988	14 370	16 827	138 412
C MANCHA	209	591	3 649	12 279	47 101	10 744	11 900	86 473
EXTREMADURA	47	172	1 285	4 406	17 682	3 292	3 979	30 863
GALICIA	755	1 573	9 212	23 975	81 158	22 647	26 571	165 891
MURCIA	47	370	2 657	9 734	57 056	13 727	20 787	104 378
NAVARRA	154	270	3 401	10 490	25 584	5 905	5 239	51 043
PAIS VASCO	184	182	1 183	17 372	72 431	23 891	23 474	138 717
RIOJA	147	196	1 570	5 257	18 412	2 939	2 245	30 766
VALENCIA	807	5 252	22 711	76 770	378 906	66 892	101 294	652 632
MADRID	1 361	4 784	32 224	112 127	371 614	71 861	72 648	666 619
CANTABRIA	93	224	1 404	4 976	21 118	5 416	4 513	37 744
CEUTA	1	8	83	113	476	109	241	1 031
TOTALES	11 558	35 709	180 824	547 702	2 165 344	469 775	680 538	4 091 450

Taula 4. Dades qualificació energètica (emissions) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10].



Taula 5. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis existents fins desembre de 2019 ^[10].

La qualificació energètica en emissions millora lleugerament respecte a la dels consums, tot i que els percentatges són força similars. Augmenten totes les qualificacions a excepció de la G, per la qual cosa podem concloure que els edificis són una mica més eficients des del punt de vista de les emissions.

Tot i així, és sorprenentment baixa l'eficiència dels edificis de construcció existent a finals de 2019. Això ens mostra la importància d'aplicar millores d'eficiència energètica. La quantitat d'energia i emissions que es podria estalviar és molt elevada.

2.4.1.2 Edificis d'obra nova

De la mateixa manera que en els edificis existents, les certificacions d'edificis d'obra nova han anat en augment, sobretot des de 2014 (s'observa un canvi important en la tendència).

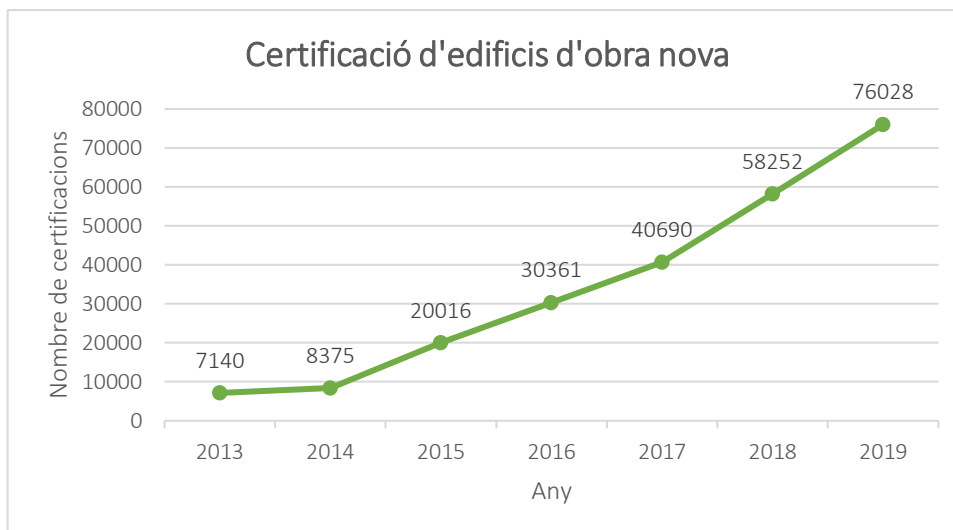


Figura 5. Certificació d'edificis d'obra nova a Espanya (2013 - 2019) ^[10].

No hi ha dades de les qualificacions energètiques en funció dels consums. Tot i així, podem analitzar-les en funció de les emissions.

CCAA	A	B	C	D	E	F	G	
ANDALUCIA	1 361	4 608	1 992	1 472	455	21	30	9 939
ARAGÓN	76	139	46	41	17	0	0	319
ASTURIAS	82	74	104	111	135	2	2	510
BALEARES	111	368	429	265	240	13	13	1 439
CANARIAS	98	275	447	380	464	101	688	2 453
CATALUÑA	2 844	3 215	866	806	507	0	0	8 238
C LEON	552	412	215	95	40	1	0	1 315
C MANCHA	261	464	169	260	399	81	101	1 735
EXTREMADURA	840	2 096	1 057	1 161	2 920	0	0	8 074
GALICIA	1 570	755	417	352	266	16	14	3 390
MURCIA	58	461	279	410	1 090	169	264	2 731
NAVARRA	832	521	396	197	80	4	1	2 031
PAIS VASCO	498	452	236	360	162	21	10	1 739
RIOJA	113	73	49	37	30	0	0	302
VALENCIA	2 281	10 173	6 148	5 190	3 524	0	0	27 316
MADRID	1 449	2 003	640	206	81	3	7	4 389
CANTABRIA	43	13	9	6	16	0	1	88
CEUTA	0	1	3	5	7	0	4	20
TOTALES	13 069	26 103	13 502	11 354	10 433	432	1135	76 028

Taula 6. Dades qualificació energètica (emissions) dels edificis d'obra nova fins desembre de 2019 ^[10].

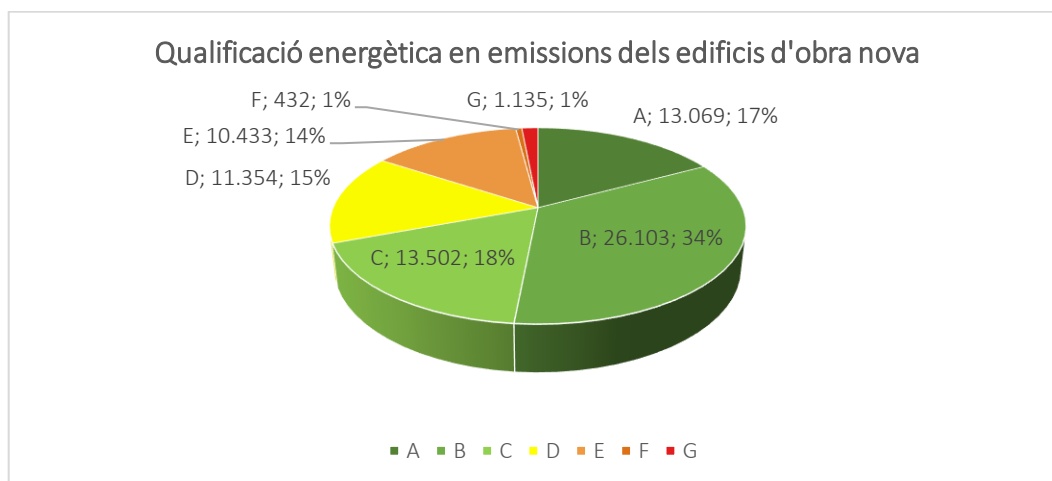


Figura 6. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis d'obra nova fins desembre de 2019 ^[10].

En els edificis de nova construcció observem un canvi molt positiu: la majoria d'edificis tenen una qualificació A, B o C (69% del total). En canvi, els qualificacions més dolentes (E, F i G) només suposen el 16%. Això és molt bo, ja que ens indica que actualment els edificis es construeixen i es dissenyen considerant criteris d'eficiència energètica.

2.4.2 Catalunya

A nivell català, el juny de 2020 el nombre total de certificats energètics era de 1.079.168 ^[11]. La província amb més certificats era Barcelona (72%), seguida de Girona (13%), Tarragona (11%) i Lleida (4%).

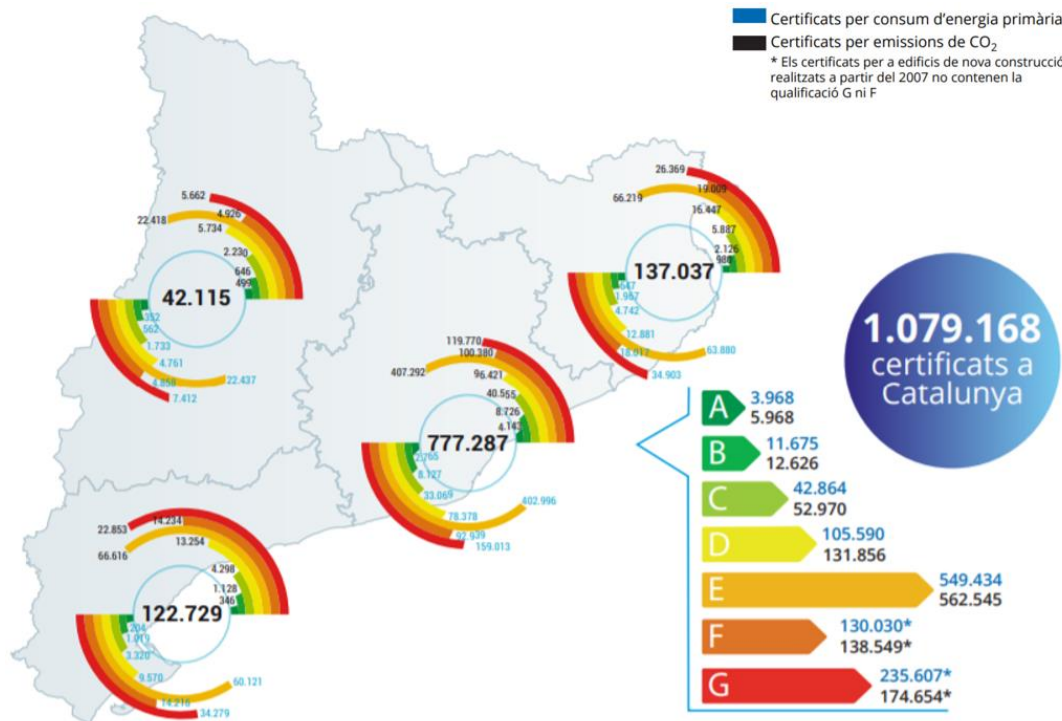


Figura 7. Certificats segons la seva qualificació d'eficiència energètica a Catalunya (juny 2020) ^[11].

Les dades engloben tant els edificis antics com els de nova construcció. Cal destacar que a Catalunya cap dels certificats d'edificis de nova construcció realitzats a partir de 2007 no conté la qualificació G ni F.

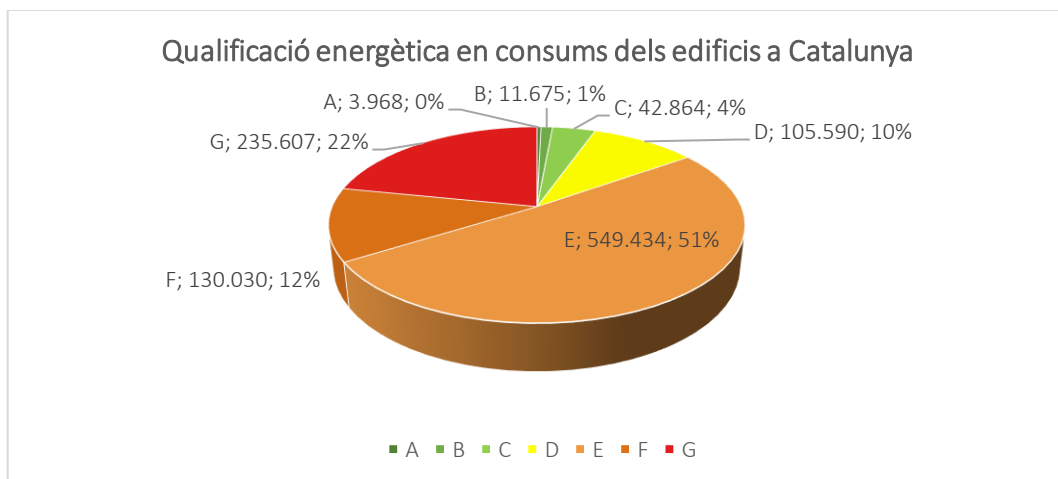


Figura 8. Distribució qualificació energètica (consums) dels edificis a Catalunya fins juny de 2020 (font pròpia).

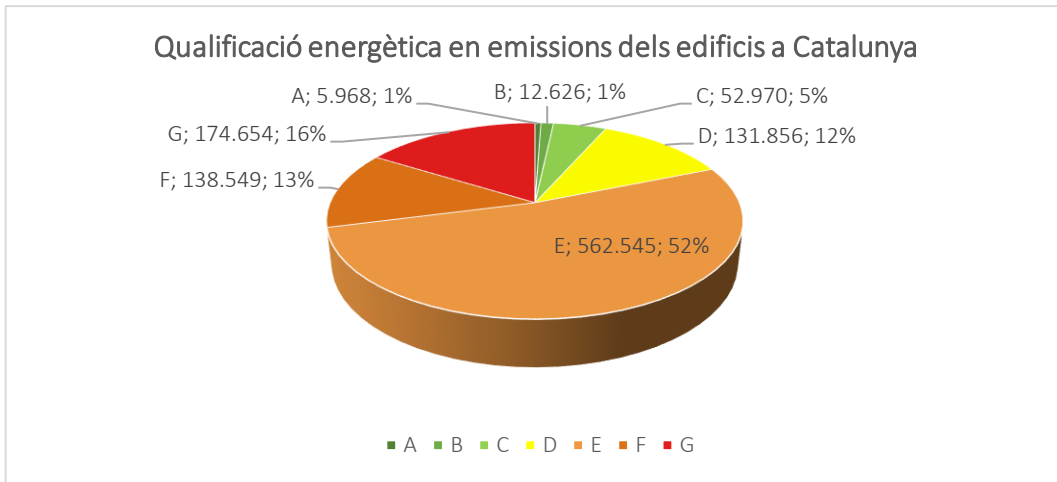


Figura 9. Distribució qualificació energètica (emissions) dels edificis a Catalunya fins el juny de 2020 (font pròpia).

A Catalunya la distribució de la qualificació energètica en consums i emissions és molt semblant a la del conjunt de l'estat espanyol. De la mateixa manera que a Espanya, les qualificacions en emissions són lleugerament millors que les de consums.

Finalment, podem analitzar la distribució de les qualificacions d'eficiència energètica dels edificis en funció de l'any en què van ser construïts. L'evolució de la següent figura ens indica com les normatives cada vegada més estrictes en termes d'eficiència energètica han permès una millora molt significativa en els certificats dels edificis.

Tot i així, convé millorar les qualificacions energètiques dels edificis més antics, ja que són els que consumeixen i contaminen més. L'institut que hauré de certificar és molt probable que acabi amb un certificat E, F o G, ja que va ser construït abans de 1981, quan no existia cap normativa específica sobre l'envolupant tèrmica dels edificis.

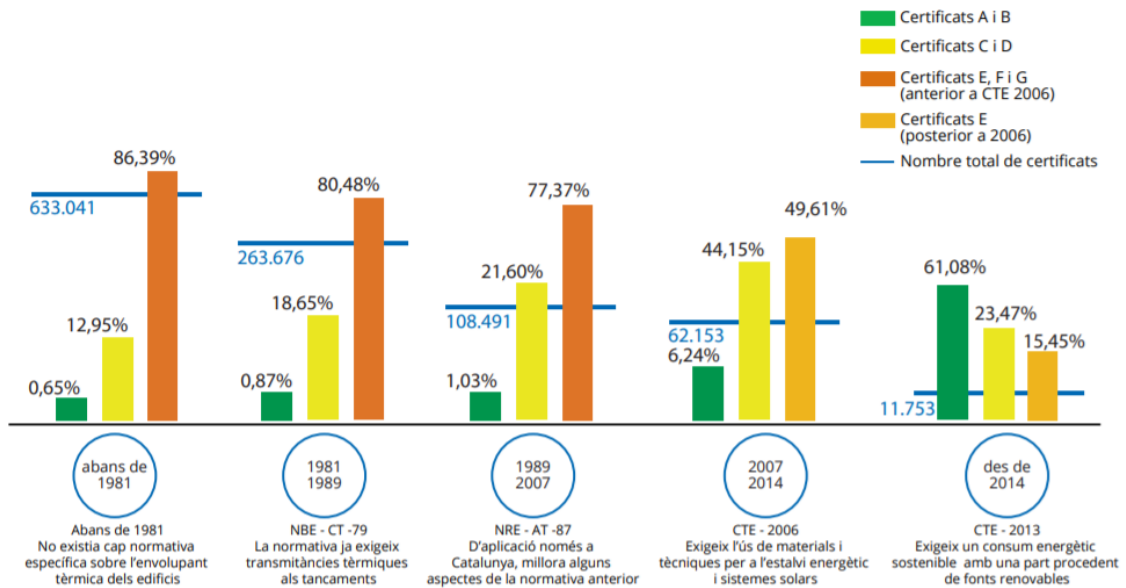


Figura 10. Qualificacions d'eficiència energètica segons la normativa a Catalunya ^[11].

3 L'institut Manuel de Pedrolo

L'institut Manuel de Pedrolo és un institut públic amb més de 50 anys d'història a Tàrrrega. Actualment s'hi cursa ESO i Batxillerat. En aquesta secció exposaré tota la informació relacionada amb l'institut útil per a realitzar aquest projecte.

Gran part de la informació l'he obtingut directament de l'institut, amb qui he mantingut un contacte constant. M'han proporcionat factures de gas, electricitat i aigua, accés a les instal·lacions, plànols i projectes.

La documentació d'un projecte redactat l'abril de 2011 consisteix en l'ampliació i adequació de l'institut. Es van realitzar reformes i ampliacions a tot l'edifici i es va construir des de zero el gimnàs. Això m'ha permès accedir a informació i plànols relativament actualitzats, que he afegit com a annexos del treball.

3.1 Ubicació i cadastre

L'institut es troba al sud de la ciutat, a l'Avinguda de Tarragona número 2. La zona climàtica corresponent és la D3.

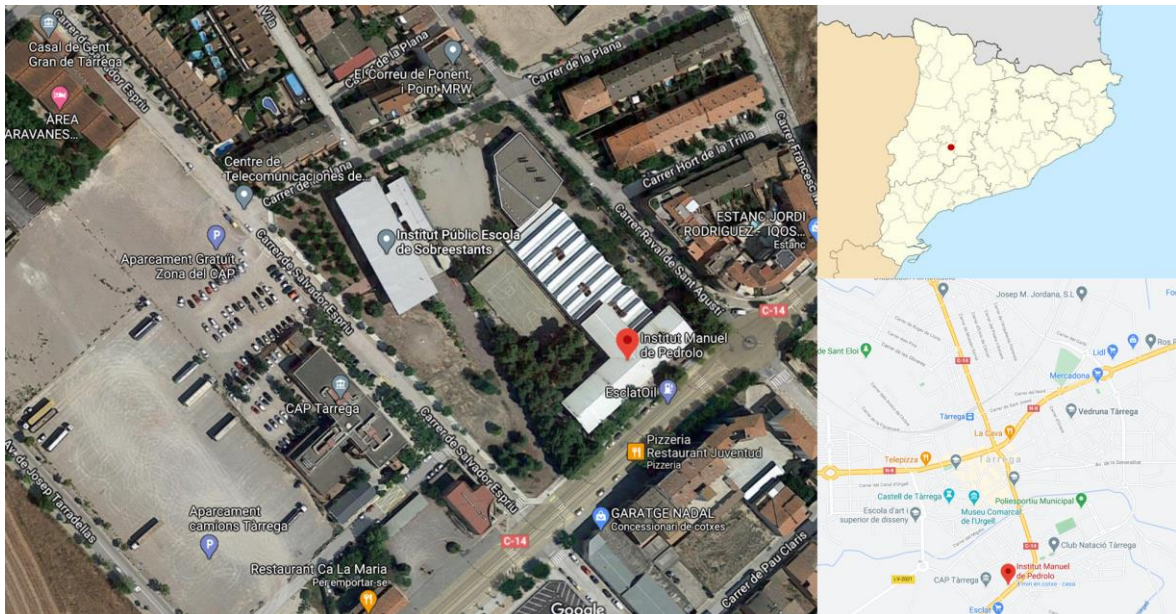


Figura 11. Ubicació institut (font pròpia).

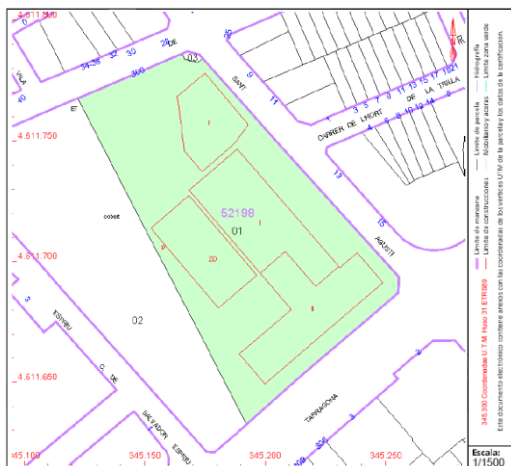


Figura 12. Parcel·la de l'institut [12].

Podem trobar informació del cadastre de l'institut a la seu electrònica del cadastre del Ministeri d'Hisenda [12]. He adjuntat la informació extreta com a annex del treball.

L'any de construcció de l'institut és el 1965, de manera que va ser construït quan no existia cap normativa específica sobre l'envolupant tèrmica dels edificis. La superfície construïda és de 5.970 m² i la referència cadastral 5219801CG4162S0001PX. La superfície de la parcel·la és de 9.682 m².

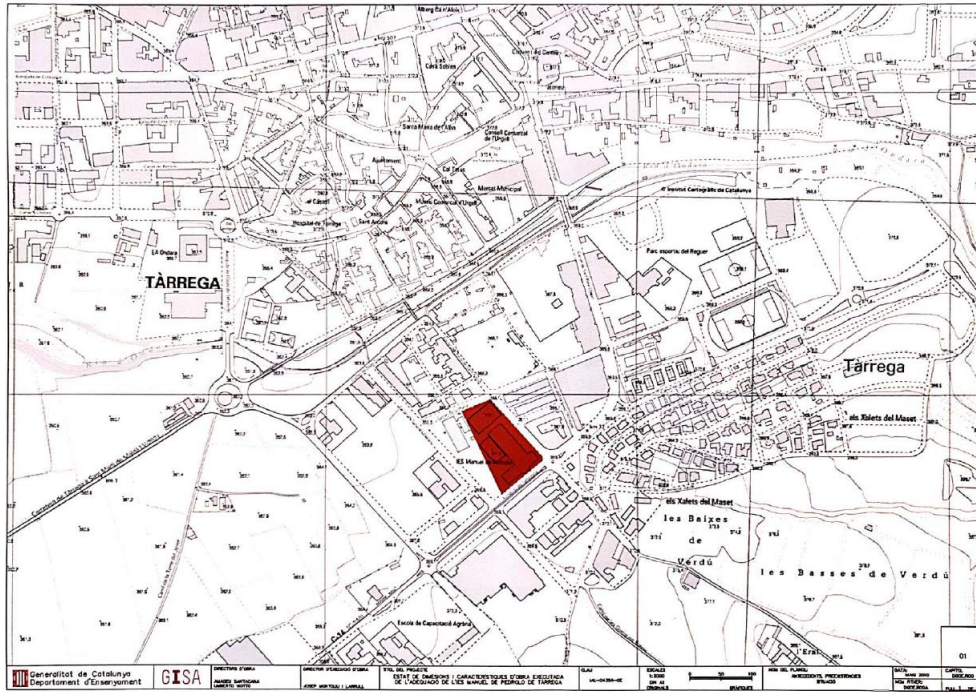


Figura 13. Situació parcel·la institut (font: plànols).

3.2 Orientació i façanes

A partir del mapa de la parcel·la de l'institut he obtingut l'orientació aproximada de les quatre façanes principals de l'edifici.

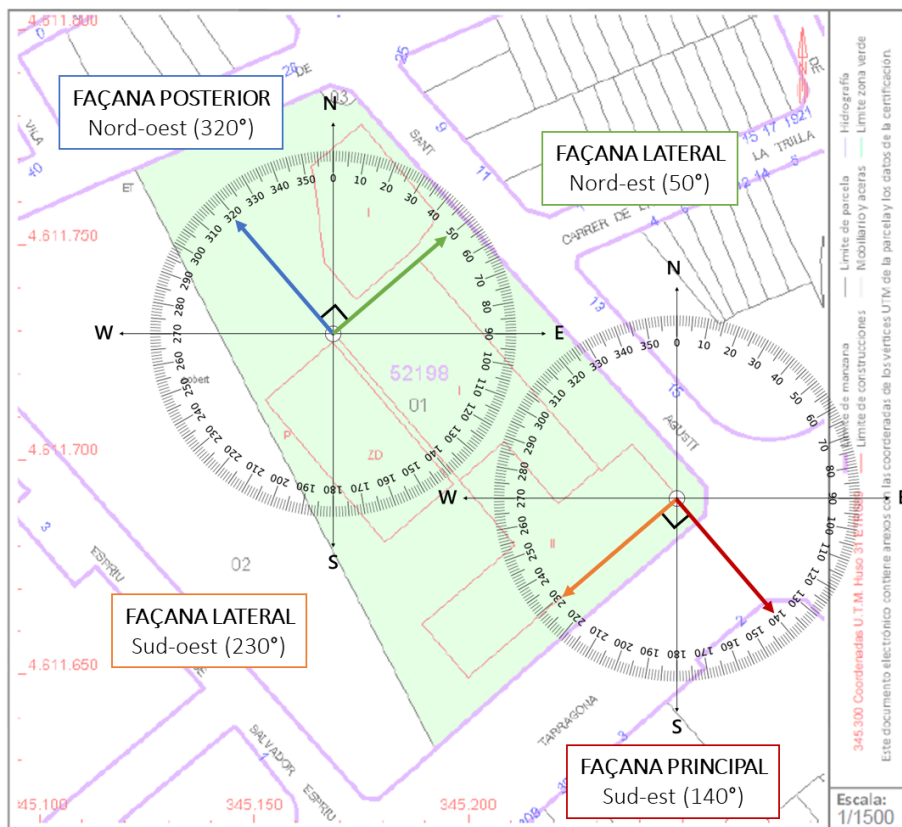


Figura 14. Orientació façanes principals (font pròpia).

La façana principal està orientada al sud-est, a uns 140° . És on hi ha l'entrada principal de l'institut, a l'Avinguda Tarragona.

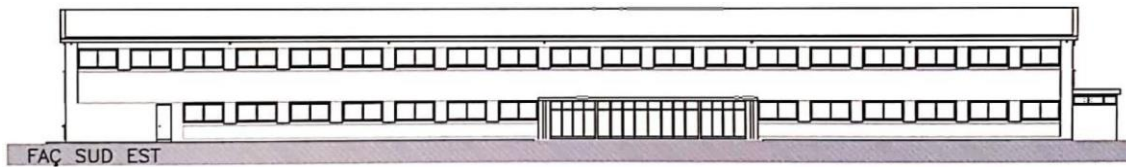


Figura 15. Façana sud-est (font: plànols).

Una de les façanes laterals està orientada al sud-oest, a uns 230° . Aquesta banda de l'institut no comunica directament amb el carrer, sinó que limita amb l'Escola de Sobreestants de Tàrrrega. Hi ha una reixa que separa les dues parcel·les.



Figura 16. Façana sud-oest (font: plànols).

La façana posterior està orientada al nord-oest, a uns 320° . Comunica amb el carrer de la Plana.

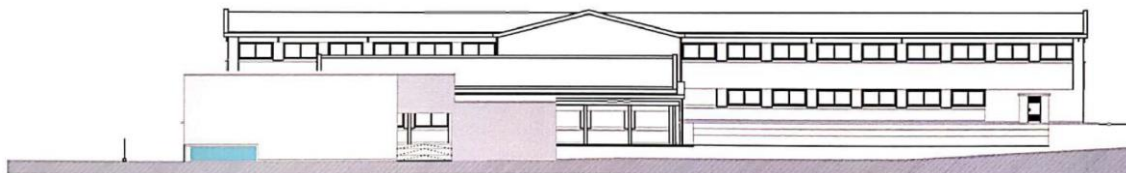


Figura 17. Façana nord-oest (font: plànols).

I, finalment, l'altra façana lateral està orientada al nord-est, a uns 50° . Comunica amb el carrer Raval de Sant Agustí.

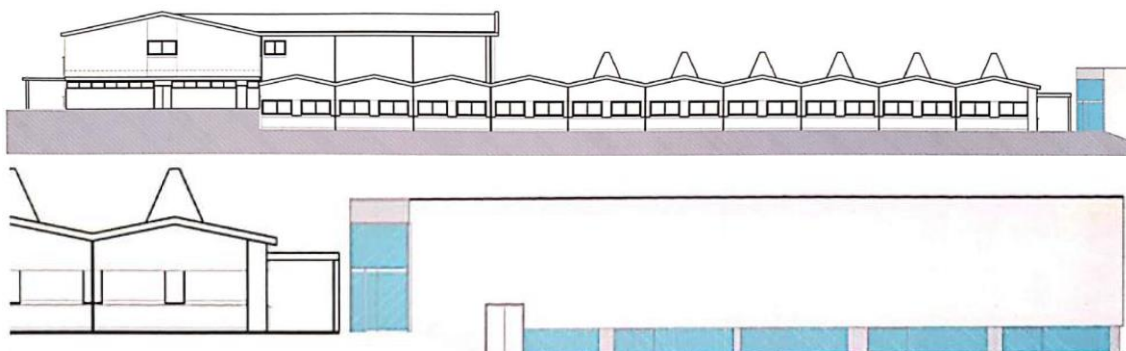


Figura 18. Façana nord-est (font: plànols).

En el reportatge fotogràfic (Annex C) poden observar-se fotos de les façanes.

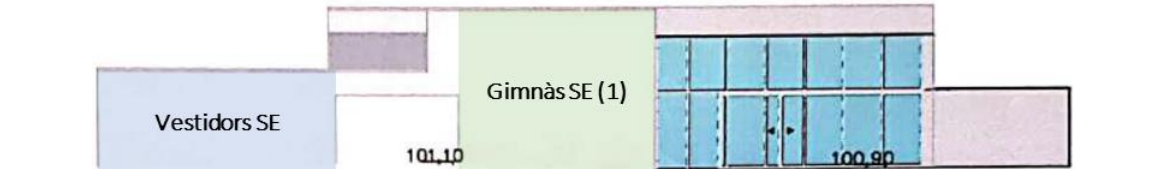
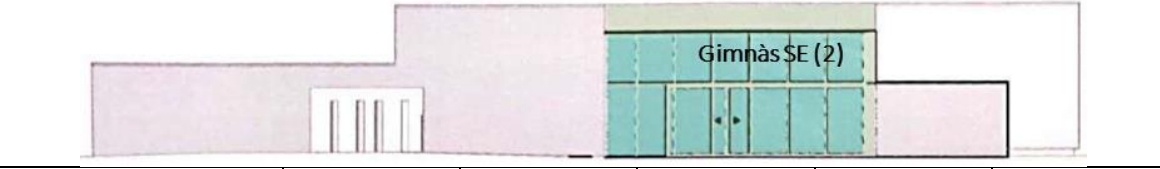
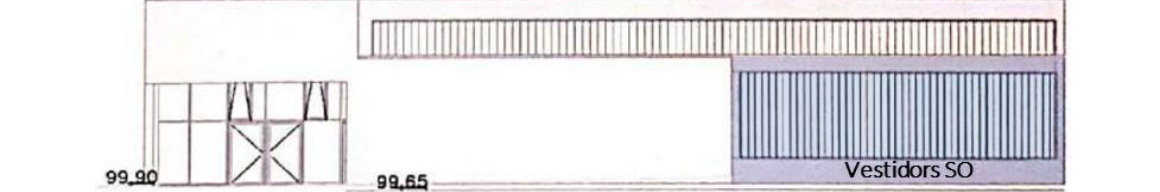
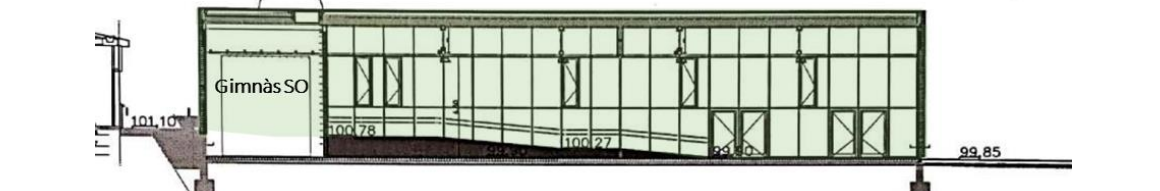
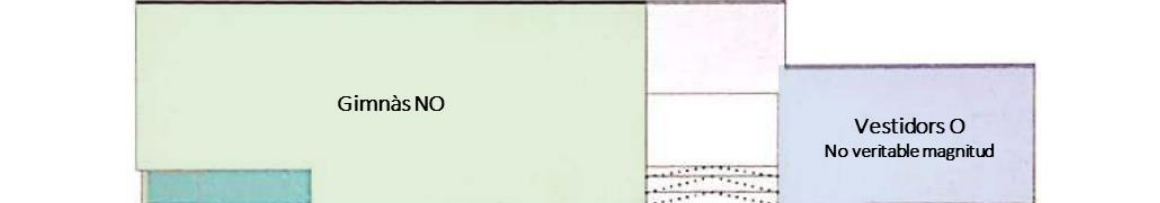
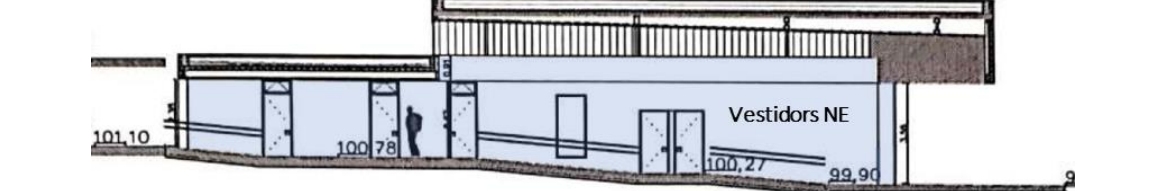
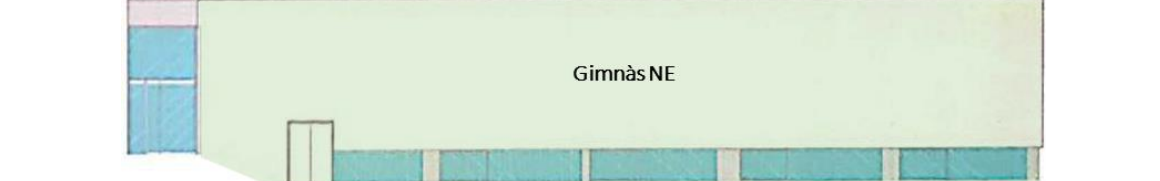
A les següents taules he anotat les dades de les façanes que em poden ser útils de cara a la certificació de l'edifici. A partir dels plànols he calculat de manera aproximada les superfícies i determinat

L'orientació de les diferents façanes, tant de l'institut com del gimnàs. També he verificat in situ si hi ha elements externs que projectin ombres.

Les mesures, en fer-se directament sobre els plànols A3, són molt aproximades a la realitat. Tot i així, hi ha cert marge d'error a causa de la reduïda escala.

Nom	Longitud	Altura	Superfície	Orientació	Ombres
<p>FAÇ SUD EST</p>					
Façana SE (1)	61	6,5	396,5	SE (140°)	Sí
Façana SE (2)	2,75	3	8,25	SE (140°)	Sí
<p>FAÇ SUD OEST</p>					
Façana SO (1)	-	-	185,73	SO (230°)	Sí
Façana SO (2)	-	-	130,88	SO (230°)	Sí
Façana SO (3)	-	-	117,56	SO (230°)	No
Façana NO (1)	26,5	4	106	NO (320°)	Sí
Façana NO (2)	-	-	103	NO (320°)	No
Façana NO (3)	-	-	64,59	NO (320°)	No
Façana NO (4)	29	6,5	188,5	NO (320°)	No
Façana NO (5)	2,75	3	8,25	NO (320°)	No
Façana NE (1)	16	3	48	NE (50°)	Sí
Façana NE (2)	-	-	71,1	NE (50°)	Sí
Façana NE (3)	-	-	68,88	NE (50°)	Sí
Façana NE (4)	-	-	265,36	NE (50°)	Sí

Taula 7. Superfície, orientació i projecció d'ombres de les façanes de l'institut (font pròpia).

Nom	Longitud [m]	Altura [m]	Superf. [m ²]	Orientació	Ombres
					
Façana vestidors SE	7,6	4,6	17,48	SE (140°)	Sí
Façana gimnàs SE (1)	6,4	5,5	35,2	SE (140°)	Sí
					
Façana gimnàs SE (2)	9,2	5,6	51,52	SE (118°)	Sí
					
Façana vestidors SO	10,9	4,6	50,14	SO (230°)	Sí
					
Façana gimnàs SO (vista des de dins)	-	-	217,07	SO (230°)	Sí
					
Façana vestidors O	15 (VM)	4,5	67,5	O (261°)	No
Façana gimnàs NO	-	-	100,86	NO (320°)	No
					
Façana vestidors NE	-	-	80,55	NE (50°)	Sí
					
Façana gimnàs NE	-	-	181,44	NE (50°)	Sí

Taula 8. Superfície, orientació i projecció d'ombres de les façanes del gimnàs i els vestidors (font pròpia).

3.3 Distribució interna

L'institut està format per:

- Un **edifici principal**, on hi ha les aules, la biblioteca, l'administració, la cuina, el menjador, els banys...
- Un **gimnàs**, construït de 2005 a 2009, que està separat de l'institut.
- Una **pista esportiva**.
- Un **pati**, que envolta tot l'institut.



Figura 19. Parts de l'institut (font pròpia).

3.3.1 Institut

L'edifici principal té una forma de "T" en planta. Té una estructura particular: des de l'entrada principal s'accedeix a la planta baixa (nivell 0 m). Des d'aquesta, es pot pujar a la planta superior (nivell +3,30 m) o baixar a la planta inferior (nivell -1,65 m).

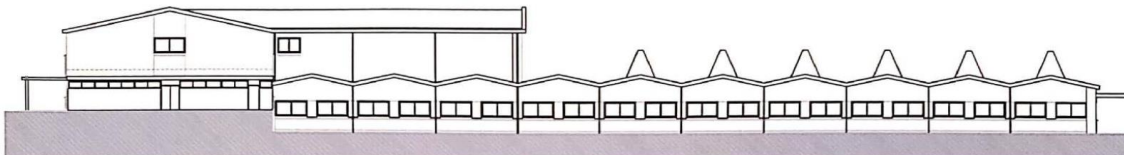


Figura 20. Façana nord-est edifici principal (font: plànols).

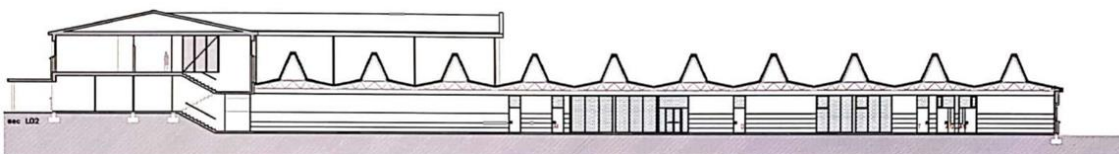


Figura 21. Secció institut vista nord-est (font: plànols).

També hi ha hagut altres canvis menors com la redistribució d'algunes aules, fet que he tingut en compte. Degut a l'augment del nombre d'alumnes dels últims anys, algunes aules especialitzades (música, laboratoris...) han estat substituïdes per aules normals. A més a més, com que cada any es canvia la distribució d'algunes aules d'ESO i Batxillerat, he definit cadascuna d'elles com a *Aula estudiants*.

La superfície útil dels espais afectats per la reforma de 2017 s'ha considerat com la suma de les superfícies útils dels espais corresponents abans de dita reforma.

ID	Espai	SU [m ²]	ID	Espai	SU [m ²]
01	Sala de professors	196,01	26	Aula estudiants	55,69
02	Aula estudiants		27	Aula estudiants	53,77
03	Aula estudiants		28	Aula estudiants	50,09
07	Vestíbul direcció i sala d'espera		29	Lavabos F	9,89
04	Banys professors F	7,86	30	Lavabos M	9,89
05	Banys professors M	6,28	31	Aula estudiants	50,09
06	Espai direcció i cap d'estudis	30,47	32	Aula estudiants	60,47
08	Espai secretari	11,41	33	Aula estudiants	58,89
09	Arxiu	9,77	34	Aula estudiants	57,97
10	Secretaria	39,28	35	Aula estudiants	55,37
11	Consergeria - Reprografia	13,98	36	Taller d'aula especial	49,16
12	Sala de visites	15,77	37	Departament	13,81
13	Biblioteca	104,04	38	Taller d'aula especial	50,77
14	Teatre – Sala d'actes	273,69	39	Aula estudiants	63,38
15	Tutoria	8,56	40	Tutoria	12,00
16	Aula atenció individualitzada	20,18	41	Aula de Dibuix	106,49
17	Aula atenció individualitzada	19,29	42	Departament	24,07
18	Associació d'alumnes	17,40	43	Magatzem	12,28
19	Cafeteria - Menjador	101,52	44	Aula de tecnologia	110,02
20	Bany P.N.D	4,11	45	Aula de taller	53,58
21	Cuina	61,24	46	Aula d'informàtica	52,45
22	Lavabos M	16,28	47	Lavabo adaptat	5,64
23	Lavabos F-M	5,19	0A	Vestíbul i corredor accés	172,81
24	Lavabos F	15,98	0B	Corredor aules	250,47
25	Aula estudiants	57,50	Superfície construïda		2.806,77

Taula 9. Superfícies i espais plantes 0 i -1 (font pròpia).

Tots els espais són habitables. La superfície habitable total d'aquestes dues plantes és de 2.474,86 m².

Des de la planta -1 es pot accedir al soterrani, on hi ha la sala de calderes (espai no habitable).

3.3.1.2 Nivell +3,30

La distribució de la planta 1 (nivell +3,30 m) és la de la *Figura 24*, la qual es pot consultar més detalladament als annexos.

De la mateixa manera que en les altres dues plantes, la distribució actual de les aules és diferent, tot i que els espais i les superfícies útils continuen sent els mateixos. A la *Taula 10* es descriuen les superfícies dels diferents espais de la planta 1.

He considerat tots els espais habitables. La superfície habitable total de la planta 1 és de 989,73 m².

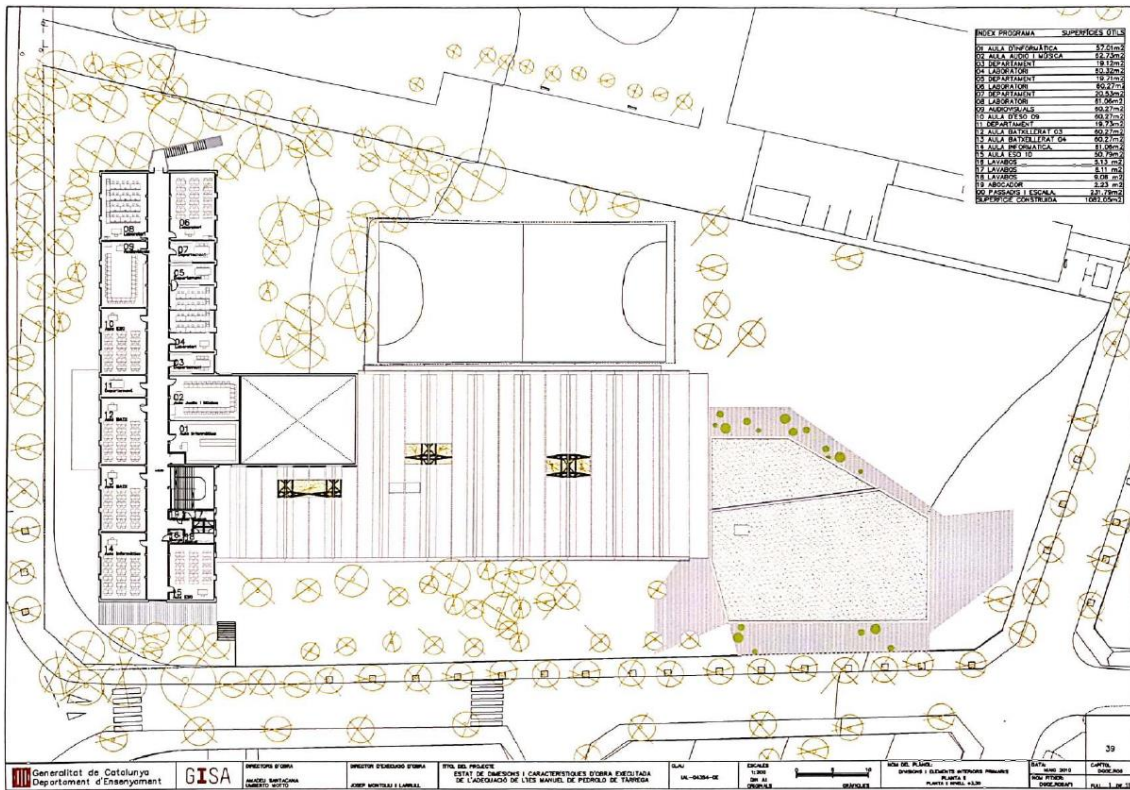


Figura 24. Plànol nivell +3,30 (font: plànols).

ID	Espai	SU [m ²]	ID	Espai	SU [m ²]
01	Aula informàtica	57,01	11	Departament	19,73
02	Aula estudiants	62,73	12	Aula estudiants	60,27
03	Departament	19,12	13	Aula estudiants	60,27
04	Laboratori	60,32	14	Aula estudiants	61,06
05	Departament	19,71	15	Aula estudiants	50,79
06	Laboratori	60,27	16	Lavabos	5,13
07	Departament	20,53	17	Lavabos	8,11
08	Aula estudiants	61,06	18	Lavabos	9,06
09	Aula estudiants	60,27	19	Abocador	2,23
10	Aula estudiants	60,27	00	Passadís i escala	231,79
Superfície construïda					1.082,05

Taula 10. Superfícies i espais planta 1 (font pròpia).

3.3.2 Gimnàs

El gimnàs està format per dos edificis: una sala polivalent i els vestidors. Està separat de l'edifici principal, de manera que s'hi pot accedir des de fora. També s'hi pot accedir des de l'institut a través d'un porxo per la porta de la façana Nord-Oest.

ID	Espai	SU [m ²]	ID	Espai	SU [m ²]
47	Gimnàs – Espai polivalent	408,84	53	Vestidor M-F	8,37
48	Magatzem	14,50	54	Sala d'aigües	12,00
49	Magatzem	14,09	55	Banys F	10,77
50	Vestidors M	27,84	56	AMPA	18,83
51	Vestidors F	27,52	0E	Espai porxat	109,96
52	Banys M	10,77	Superfície construïda		701,37

Taula 11. Superfícies i espais gimnàs (font pròpia).

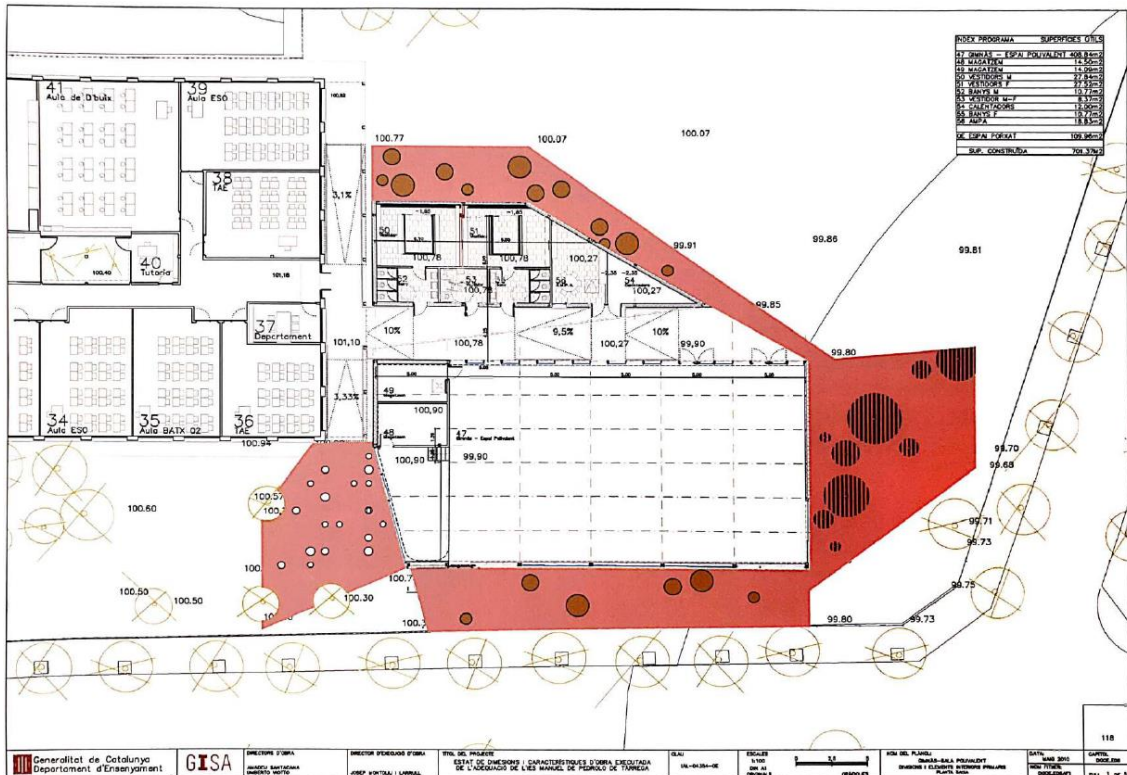


Figura 25. Plànol gimnàs (font: plànols).

Els magatzems, la sala d'aigües i l'espai porxat són espais no habitables. La superfície total corresponent als espais habitables és de 512,94 m².

3.3.3 Pista esportiva i pati

La pista esportiva i el pati, en trobar-se a l'aire lliure i sense instal·lacions, no seran objecte de l'estudi de certificació.

Al reportatge fotogràfic (Annex C) hi ha fotos de la pista i el pati, així com de tots els espais descrits en aquest apartat.

3.3.4 Superfície útil habitable i altura mitja ponderada

La superfície útil habitable de l'institut és de 3.977,53 m². En la majoria d'espais l'altura és d'un 3,15 m. Aquest valor, obtingut a partir de mesures sobre els plànols, l'utilitzaré per a la certificació simplificada. Tot i així, per a la certificació exhaustiva calcularé una altura ponderada a partir de mesures directes fetes presencialment a l'institut.

3.4 Envolupant tèrmica

L'envolupant tèrmica d'un edifici fa referència a tots aquells tancaments (cobertes, murs, terres...) que separen els espais habitables de l'exterior o d'espais no habitables com ara garatges o trasters, que no necessiten mantenir condicions de confort.

Té les funcions de protegir l'edifici contra el clima i aïllar-lo tèrmicament i acústicament. Una bona envolupant assegura el benestar dels ocupants i una reducció del consum energètic de l'immoble ^[14].

En aquest apartat tractaré tots aquells elements que engloba l'envolupant tèrmica necessaris per a la certificació energètica utilitzant CE3X.

3.4.1 Cobertes

Les cobertes són els elements constructius que protegeixen l'edifici per la part superior. Poden ser enterrades o en contacte amb l'aire.

No convé confondre les cobertes amb els sostres en contacte amb un recinte no habitable. A la imatge següent pot entendre's més bé en què consisteixen les cobertes definides en aquest apartat.

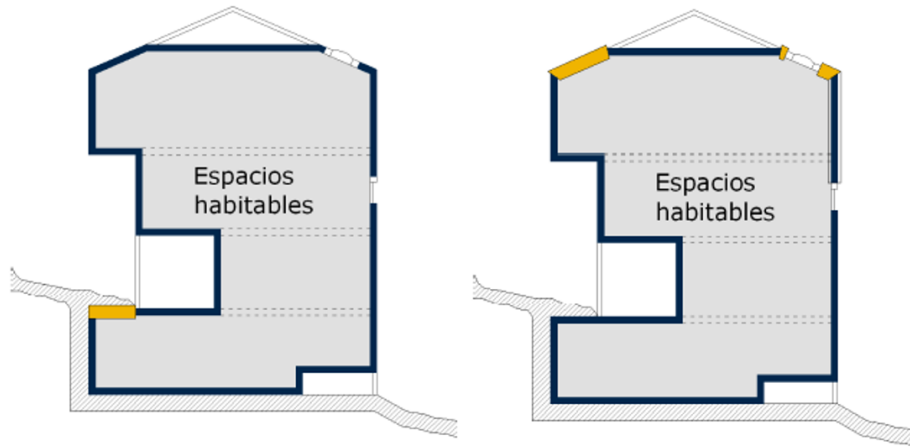


Figura 26. Tipus de cobertes: enterrades (esquerra) o en contacte amb l'aire (dreta) (font: CE3X).

En el cas de l'institut totes les cobertes estan en contacte amb l'aire: són les de la cuina, els vestidors i la sala polivalent. A la següent taula poden observar-se les dades que he obtingut de les diferents cobertes de l'institut.

Lloc	Tipus	Superfície (m ²)	Ombres
Cuina	Plana	42,90	Sí
Vestidors	Plana	115,38	No
Sala polivalent	Plana	425,05	No

Taula 12. Dades cobertes (font pròpia).

Els vestidors i la sala polivalent tenen cobertes planes en contacte directe amb l'exterior. Tot i així, a l'edifici principal analitzaré els sostres com a particions interiors horitzontals en contacte amb un espai no habitable superior.

Tal i com es pot veure a la següent secció de l'edifici, els sostres interiors estan separats per un espai no habitable de l'exterior.

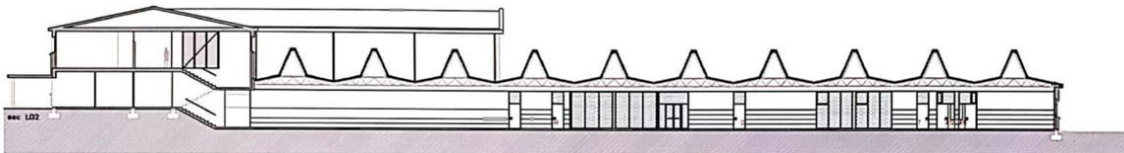


Figura 27. Secció edifici principal (font: plànols).

3.4.2 Murs

Els murs poden ser de tres tipus: en contacte amb el terreny, de façana o en contacte amb un altre edifici.



Figura 28. Tipus de murs: contacte amb terreny (esquerra), façana (mig) o contacte amb un altre edifici (dreta) (font: CE3X).

En el cas de l'institut i el gimnàs, en tractar-se d'edificis aïllats envoltats per un pati, no estan en contacte directe amb cap altre edifici. La gran majoria dels murs que envolten espais habitables són de façana. Tot i així, hi ha algun mur parcialment en contacte amb el terreny que haurem de tenir en compte.

3.4.2.1 Murs en contacte amb el terreny

En primer lloc, com que la planta inferior de l'edifici principal està parcialment enterrada, trobem un mur en contacte amb el terreny ^[15]. Per a simplificar-ho considerarem només la part més significativa, la paret de la direcció SE.

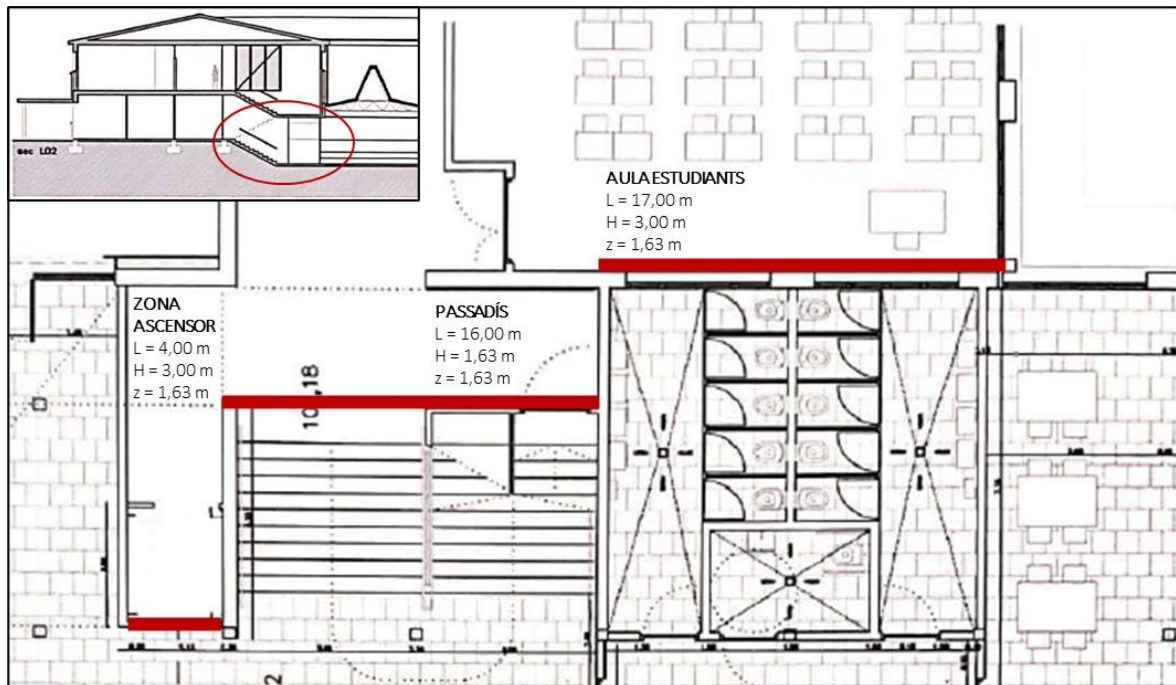


Figura 29. Murs en contacte amb el terreny institut SE (font pròpia).

Al gimnàs també hi ha alguns murs en contacte amb el terreny. Aquests afecten a la sala polivalent principalment, en concret a les parets SO i SE. Convé no tenir en compte els espais no habitables en contacte amb el terreny, que es consideren més endavant.

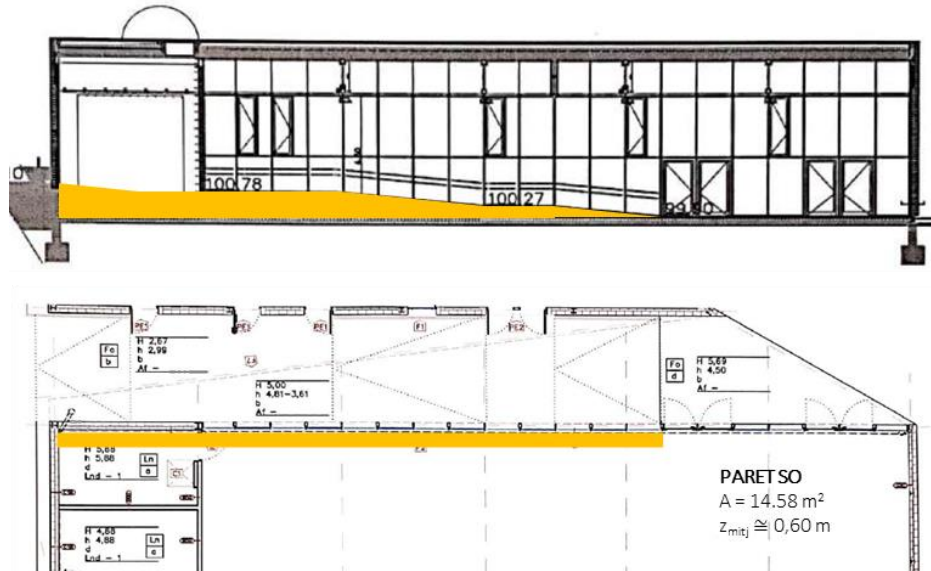


Figura 30. Mur en contacte amb el terreny gimnàs SO (font pròpia).

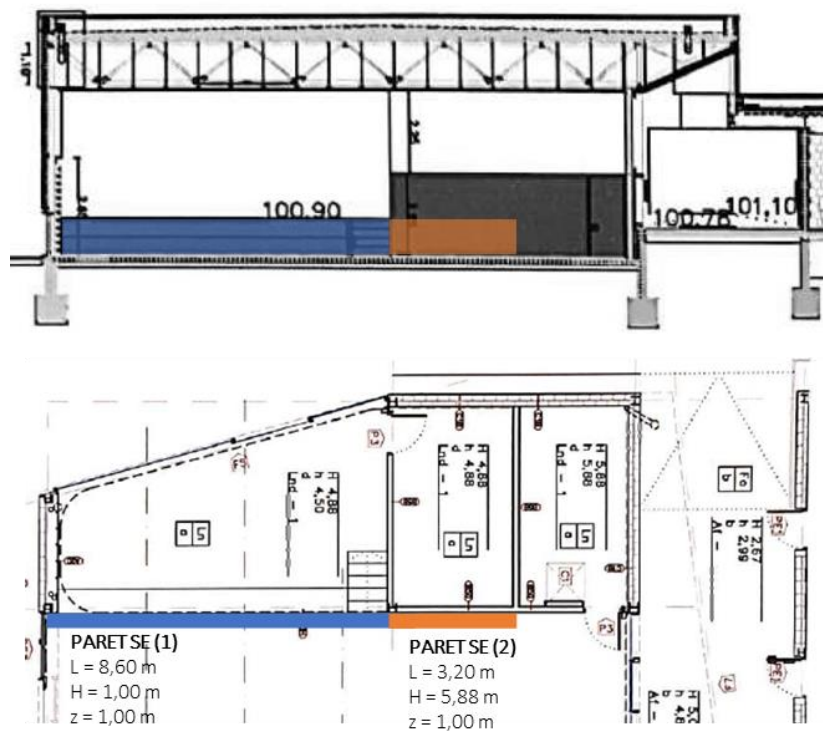


Figura 31. Murs en contacte amb el terreny gimnàs SE (font pròpia).

3.4.2.2 Façanes

Les façanes de l'institut i del gimnàs ja han estat definides prèviament a l'apartat 3.2.

3.4.3 Terres

Els terres poden ser de dos tipus diferents, en contacte amb el terreny o en contacte amb l'aire.

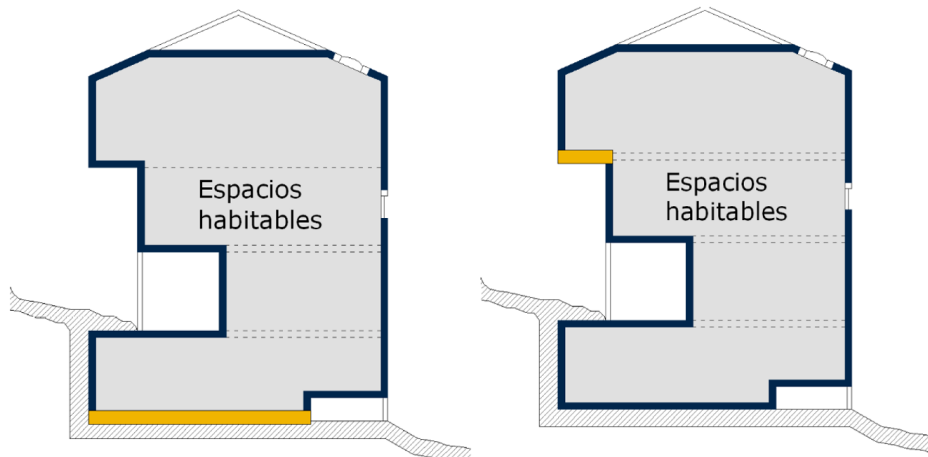


Figura 32. Tipus de terres: en contacte amb el terreny (esquerra) o en contacte amb l'aire (dreta) (font: CE3X).

Tot i així, haurem de tenir en compte els espais no habitables, com la sala de calderes, els magatzems o l'ascensor. En aquest cas haurem de tractar els terres com a particions interiors horitzontals en contacte amb zones no habitables, que seran estudiades a l'apartat 3.4.4.

A partir dels plànols proporcionats per l'institut he mesurat els perímetres i les superfícies interiors dels paviments de tres espais diferents: l'institut, el gimnàs i els vestidors. He dibuixat uns plànols simplificats amb les mesures principals dels terres dels espais habitables dels tres llocs comentats, que poden consultar-se com a annexes (Annex D).

Nom	Superfície [m ²]	Perímetre [m]
Institut	2453,07	397,80
Gimnàs	395,17	86,70
Vestidors	108,78	44,10

Taula 13. Dades rellevants terres (font pròpia).

A més a més, hi ha un terra en contacte amb l'aire a l'entrada de l'edifici, on hi ha el porxo. Aquest té una superfície de 40,96 m² (3,2 m d'amplada i 12,8 m de llargada).

3.4.4 Particions interiors

Una partició interior és un mur, terra o sostre que està en contacte amb un espai no habitable. Així doncs, tenim els següents tres tipus de particions:

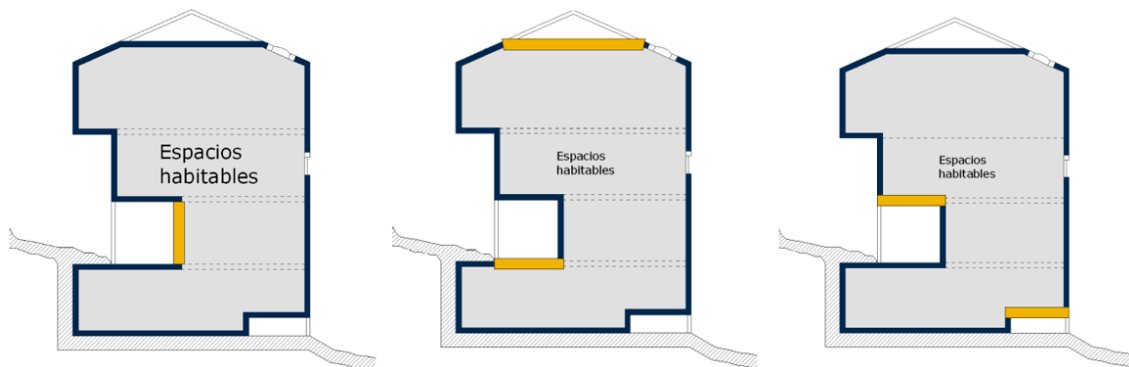


Figura 33. Tipus de particions interiors: vertical (esquerra), horitzontal amb espai NH superior (mig) i horitzontal amb espai NH inferior (dreta) (font: CE3X).

Definirem les diferents particions a partir dels espais no habitables de l'institut i el gimnàs. Tots els espais no considerats en aquest apartat són habitables.

3.4.4.1 Sala de calderes

La sala de calderes engloba tot l'espai ubicat al soterrani de l'edifici principal. Com que al seu voltant només hi ha els fonaments de l'institut, no hi ha particions verticals. Així doncs, només és necessari definir-ne el sostre, una partició horitzontal amb un espai no habitable inferior. La superfície de la partició és de 74,4 m².

3.4.4.2 Ascensor

L'ascensor, també ubicat a l'edifici principal, va de dalt a baix de l'institut. Comunica amb les plantes -1, 0 i 1. El forat de l'ascensor és de 1,65 m per 1,75 m (superfície de 2,89 m²).

A la part superior està en contacte directe amb l'espai no habitable sota la teulada, cosa que es tindrà en compte en dimensionar els sostres (3.4.4.6 *Sostres edifici principal*).

L'alçada de les quatre parets de l'institut en contacte amb el forat de l'ascensor és d'uns 8,05 m. En aquest cas no hi ha particions horitzontals.

Per tant, tindrem quatre particions verticals en contacte amb un espai no habitable, 2 de 13,28 m² i 2 de 14,09 m².

3.4.4.3 Patis interiors

Els tres patis interiors de l'edifici principal he decidit considerar-los com a espais no habitables. Les parets podrien haver-se considerat façanes en contacte amb l'exterior, però tenint en compte que els espais són molt reduïts i estan envoltats per l'edifici pels quatre costats, he acabat optant per la primera opció.

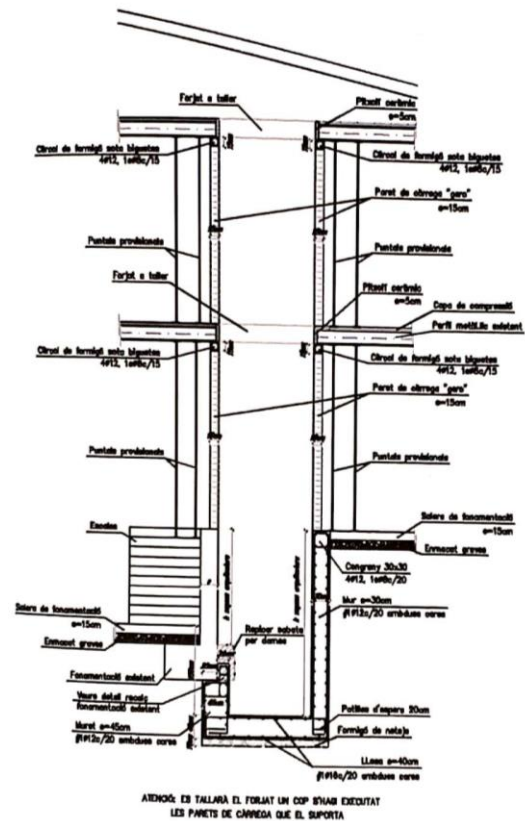


Figura 34. Secció vertical forat ascensor (font: plànols).

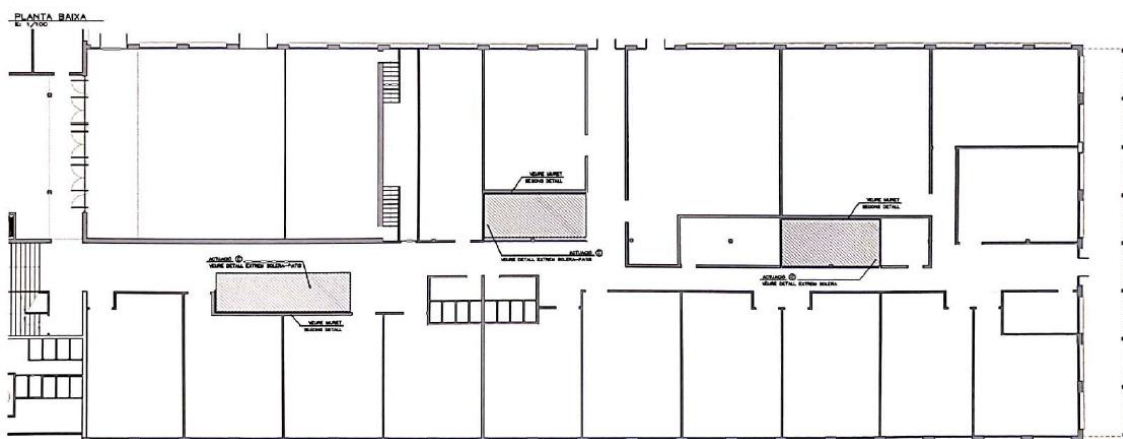


Figura 35. Distribució patis interiors (font: plànols).

El primer pati, situat a l'esquerra al plànol superior té una longitud de 8,48 m i una amplada de 2,48 m. L'alçada aproximada de les parets en contacte amb l'interior de l'edifici és de 3,10 m. Així doncs, hi ha quatre particions verticals: 2 de 26,29 m² i 2 de 7,69 m².

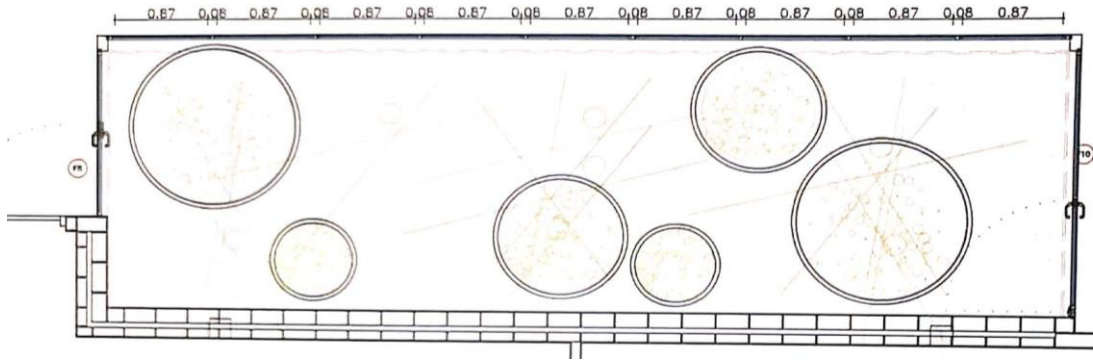


Figura 36. Pati número 1 (font: plànols).

El segon pati, situat al mig, té una longitud de 6,93 m i una amplada de 3 m. L'alçada aproximada de les parets en contacte amb l'interior de l'edifici és de 3,10 m. Hi ha 2 particions verticals de 21,48 m² i 2 de 9,30 m².

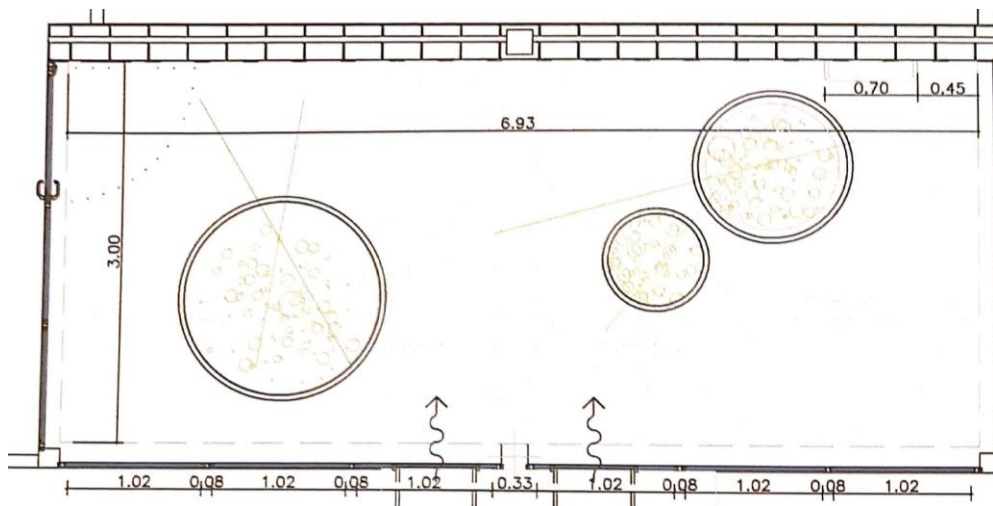


Figura 37. Pati número 2 (font: plànols).

Finalment, el tercer pati, situat a la dreta, té una longitud de 6,08 m i una amplada de 3,40 m. L'alçada aproximada de les parets en contacte amb l'interior de l'edifici és de 3,10 m. Hi ha 2 particions verticals de 18,85 m² i 2 de 10,54 m².

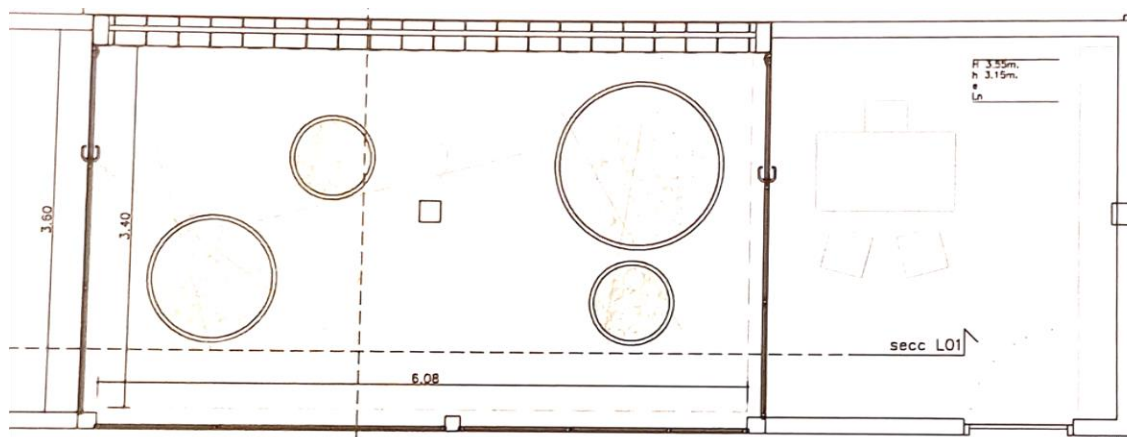


Figura 38. Pati número 3 (font: plànols).

No hi ha particions horitzontals en cap dels tres patis, ja que estan oberts a l'aire lliure.

3.4.4.4 Sala d'aigües

És la sala de l'edifici dels vestidors on hi ha ubicats els col·lectors solars. La paret en contacte amb la sala del costat (AMPA ID56) té una amplada de 3,80 m i una alçada de 2,90 m, de manera que la superfície d'aquesta partició és de 11,02 m².

3.4.4.5 Magatzems gimnàs

Al gimnàs hi ha dos sales no habitables que fan la funció de magatzem. Les parets en contacte amb els espais no habitables són:

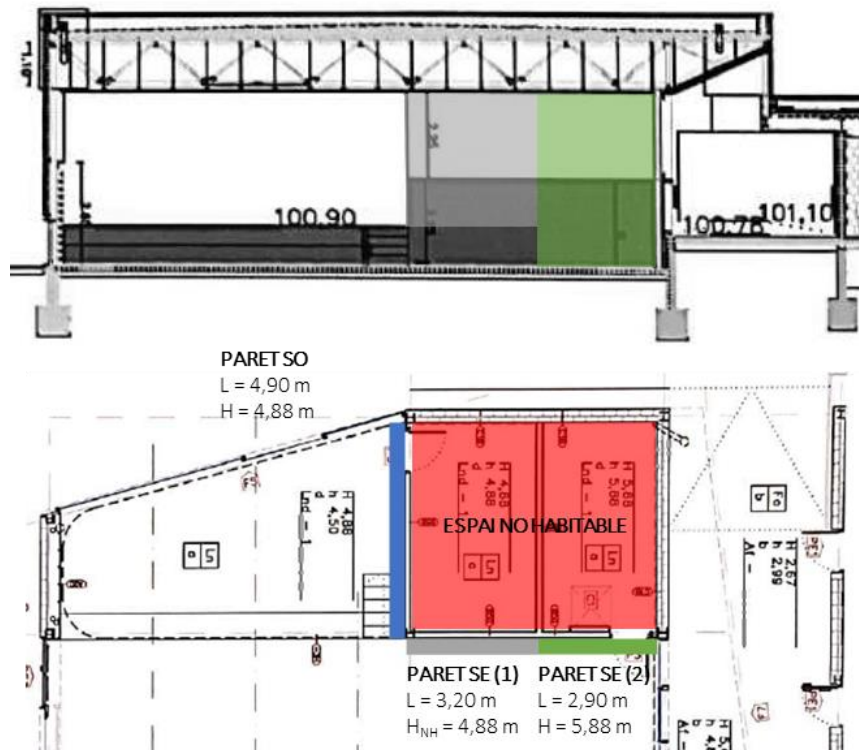


Figura 39. Murs en contacte amb els magatzems (font pròpia).

3.4.4.6 Sostres edifici principal

Tal i com he comentat a l'apartat 3.4.1, l'edifici principal està cobert en la seva totalitat per falsos sostres sota coberta inclinada (a excepció de la cuina). És a dir, per particions interiors horitzontals en contacte amb espais no habitables superiors.



Figura 40. Secció de l'edifici principal on es poden veure els espais sota les cobertes (font: plànols).

A partir del plànol de terres de l'edifici principal podem obtenir les mesures dels sostres. En el càlcul de la superfície total (2453,07 m²) ja s'havien tingut en compte els espais ocupats pels patis i l'ascensor. Només haurem d'afegir-hi la superfície sota el porxo de l'entrada (12,8 m²) i restar-li l'àrea del sostre de la cuina (42,90 m²), el qual s'ha tractat com a coberta. Així doncs, la superfície total dels sostres és de 2.422,97 m².

3.4.5 Finestres i portes

En aquest apartat definiré totes les finestres i portes de vidre de l'institut i les seves dades principals. Als annexos he adjuntat els plànols d'on he extret la informació.

Nom	Descripció	L [m]	h [m]	Tanc. associat	Núm.
IF01	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra de dos fulles corredisses. Amb rotlle i caixa de persiana. Vidre 3+3/6/6.	2,50	1,25	Façana SE (1)	29
				Façana SO (1)	13
				Façana SO (2)	4
				Façana SO (3)	5
				Façana NO (1)	7
				Façana NO (2)	4
				Façana NO (4)	16
				Façana NE (2)	1
				Façana NE (4)	20
IF02	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i butiral blanc de dos fulles corredisses i dos fulles fixes. Vidre 3+3/6/6.	2,50	1,25	Façana SE (1)	2
IF03	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra de dos fulles corredisses, amb rotlle i caixa de persiana. Vidre 3+3/6/6.	1,85	1,85	Façana SO (2)	1
				Façana NE (3)	1
IF04	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i mosquitera exterior de 2 fulles corredisses i pany fix. Vidre 3+3/6/6.	2,80	0,70	Façana SE (2)	1
				Façana NO (5)	1
IF05	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i mosquitera exterior, amb tres mòduls de dos fulles corredisses i un pany fix. Vidre 3+3/6/6.	7,30	0,70	Façana NE (1)	1
IF06	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i mosquitera exterior, amb dos mòduls de dos fulles corredisses i un pany fix. Vidre 3+3/6/6.	5,44	0,70	Façana NE (1)	1
IF07	Pany fix de fusteria d'alumini amb vidre amb cambra i mosquitera exterior. Vidre 3+3/6/6	1,00	0,70	Façana NE (1)	1
IPE01	Porta d'alumini amb vidre o amb cambra entre vidres laminats i amb una resistència a la ruptura per a un impacte de nivell 3 segons la UNE EN 12600:2003, de 2 fulles centrals practicables i dos fixes laterals i una tarja superior fixa, amb pany i elements antipànic. Vidre 3+3/6/3+3	2,50	2,40	Façana SE (1)	1
				Façana SO (1)	1
				Façana SO (3)	1
				Façana NO (1)	1
IF01h	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i butiral blanc de dues fulles corredisses. Vidre 6/6/8	2,50	0,65	Façana NO (2)	2
IF16	Finestra d'alumini amb vidre amb cambra i butiral blanc de dues fulles corredisses. Vidre 6/6/8	0,80	1,25	Façana NO (2)	2
IM01	Tancament d'accés format per un conjunt de fixes de vidre i portes de dues fulles	11,90	3,15	Façana SE (1)	1

	batents amb vidre amb cambra entre vidres laminats amb làmina butiral i amb una resistència a la ruptura per a un impacte de nivell 3 segons la norma UNE EN 12600:2003, amb pany, clau i mecanismes antipànic.				
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--	--

Taula 14. Portes i finestres de vidre edifici principal (font pròpia).

Nom	Descripció	L [m]	h [m]	Tanc. associat	Núm.
GF01	Finestra d'alumini amb vidre laminat amb cambra d'una fulla batent.	1,00	2,20	Vestidors NE	1
GF02	Finestres d'alumini amb vidre laminat amb cambra fixes. 5 finestres oscil·lants amb braç allargador mecanisme tancament. 4 portes de vidre amb pany.	24,81	4,14 [mitjan a 3,72 (mín.) i 4,55 (màx.)]	Gimnàs SO	1
GF03	Finestra d'alumini amb vidre laminat amb cambra fix, més finestra d'alumini amb vidre laminat amb cambra.	4,80	1,12	Gimnàs NO	1
				Gimnàs NE	4
GF04	Finestra d'alumini amb vidre laminat amb cambra fix.	2,94	1,12	Gimnàs NE	1
GF05	Conjunt de finestres formades per dues corredisses (dividides en panys de vidres més petits), dos finestres fixes en zona baixa i set finestres fixes en la part superior. Tots els vidres són laminats i amb cambra.	8,70	4,52	Gimnàs SE (2)	1
GF06	Finestra composta de U-glass armat doble (col·locació en cambra) amb fusteria d'alumini.	10,30	3,01	Vestidors SO	1

Taula 15. Portes i finestres de vidre gimnàs (font pròpia).

No he tingut en compte totes aquelles portes que no són de vidre. A més a més, com que he considerat els patis interiors com a espais no habitables envoltats de particions verticals (i no de façanes), tampoc serà necessari definir les portes i finestres associades.

En vermell he marcat aquelles dades suposades per falta d'informació als plànols o per poca claredat (en aquest segon cas les mesures s'han obtingut a partir de mesures directes sobre els plànols).

3.4.6 Pont tèrmic

He definit tots els elements de pont tèrmic per defecte a les certificacions energètiques amb CE3X.

Tot i així, convé revisar els ponts tèrmics creats pel programa. Caldrà eliminar-ne alguns, com ara:

- Caixes de persiana de finestres que no en tenen.
- Pilars de cantonada repetits en dos façanes associades i amb diferent orientació.
- Pilars integrats en façanes on no n'hi ha (per exemple, en façanes molt petites).

3.5 Instal·lacions

3.5.1 Calefacció i ACS

La generació de calor per a calefacció i ACS del centre és proporcionada per tres calderes de gas natural de la marca Roca, model G100/110^[16], situades a la sala de calderes del soterrani de l'edifici. Tenen una potència nominal de 126 kW i un rendiment del 91,6% cadascuna.



Figura 41. Calderes de gas natural (font pròpia).

Hi ha sis circuits que alimenten sis zones diferents de l'institut. El control va centralitzat en un col·lector d'acer negre, des del qual es pot controlar tota la instal·lació de calefacció. Els circuits alimenten la zona nord-est (circuit 1), la sala d'actes (circuit 2), la zona sud-est (circuit 3), la zona nord-oest (circuit 4), la zona sud-oest (circuit 5) i el gimnàs (circuit 6).



Figura 42. Col·lector i sis circuits de la instal·lació (font pròpia).

A la mateixa sala de calderes hi ha un acumulador de paret de 100 L per ACS de la marca Thermor. Aquest és responsable del subministrament d'aigua calenta a la cuina i a la cafeteria.



Figura 43. Acumulador ACS cuina i cafeteria (font pròpia).

Pel que fa al gimnàs, la producció d'ACS de la sala de calderes escalfarà l'aigua d'un acumulador de 500 litres pel consum dels vestuaris i les dutxes. Un sistema de captació i generació solar reforça prèviament la producció d'ACS amb un acumulador de 1.000 litres i una superfície de captació de 18,90 m².

La calefacció dels diferents espais de l'institut i el gimnàs es distribueix amb radiadors. L'única excepció és la sala polivalent, que s'escalfa mitjançant 4 aeroescalfadors UL-210.



Figura 44. Acumuladors gimnàs (font pròpia).

Finalment, a l'institut hi ha cinc equips d'aire condicionat per calor i refrigeració repartits entre consergeria, la biblioteca, secretaria, direcció i la sala de professors. Aquests són bastant nous (adquirits més tard del 2013) i subministren calefacció o refrigeració en funció de les necessitats.

Hi ha dos models diferents, els dos de la marca Panasonic.



Figura 45. Equip d'aire condicionat petit (consergeria, secretaria i direcció) (font pròpia).



Figura 46. Equip d'aire condicionat gran (biblioteca i sala de professors) (font pròpia).

3.5.2 Refrigeració

En tot l'institut s'utilitza ventilació natural per a baixar la temperatura, a excepció dels espais on hi ha equips d'aire condicionat. En aquests espais, es pot utilitzar aquest equip en mode de refrigeració.

3.5.3 Energies renovables

Tal i com es comenta a l'apartat de consums, la comercialitzadora elèctrica contractada per l'institut assegura un origen 100% renovable de l'electricitat.

Pel que fa a instal·lacions pròpies, disposa de 9 col·lectors solars a la coberta del gimnàs per a suplir la demanda d'ACS, que rep el suport de la caldera. Estan orientats al sud amb una inclinació de 45°.



Figura 47. Vista de la coberta del gimnàs amb els col·lectors solars^[17].

3.5.4 Instal·lació elèctrica

A l'annex E pot observar-se amb major detall el càlcul de la potència total de l'institut i els elements que componen els diferents quadres i subquadres.

3.5.5 Il·luminació

L'enllumenat de la major part d'espais de l'institut (aules, vestíbuls, biblioteca, secretaria, consergeria i sala de professors) és amb llums fluorescents de PVC estancs o de tipus carril. A la cuina, passadissos i llocs humits els llums són fluorescents de PVC estancs.

L'enllumenat del gimnàs és amb projectors tipus campana amb làmpada d'halogenurs metàl·lics. L'edifici dels vestidors té fluorescents de PVC estancs. Al passadís central, entre els vestidors i la sala polivalent, hi ha regletes de fluorescents semiestanques.

L'enllumenat d'emergència s'activa automàticament en cas d'una fallada en el subministrament o quan la tensió està per sota del 70% del seu valor nominal. No hi ha cap sistema de control de la il·luminació.

Cal destacar que la informació obtinguda respecte a la instal·lació d'il·luminació ha estat obtinguda a partir dels plànols del projecte de reforma datats a maig de 2010. En tots aquests anys, alguns fluorescents s'han fos i s'han canviat per tubs LED. Tot i així, la immensa majoria de l'institut continua utilitzant fluorescents.

He fet algunes suposicions respecte a la il·luminació en diferents espais de l'institut que no sortien als plànols:

- **Sala d'actes.** La instal·lació de la sala d'actes constava com a existent, de manera que he hagut de verificar presencialment els diferents equips d'il·luminació. En aquesta hi ha 6 tubs fluorescents i 11 focus de tres tipus diferents, dels quals he estimat la potència. Estimo que la il·luminació d'emergència del teatre té una potència de 100 W. Agafant llums de característiques semblants del gimnàs, assigno 150 W als focus de tipus A i 250 W als altres dos tipus. Els fluorescents són de 36 W per defecte. Aquests valors són orientatius, només són per a poder realitzar el càlcul de la potència total.

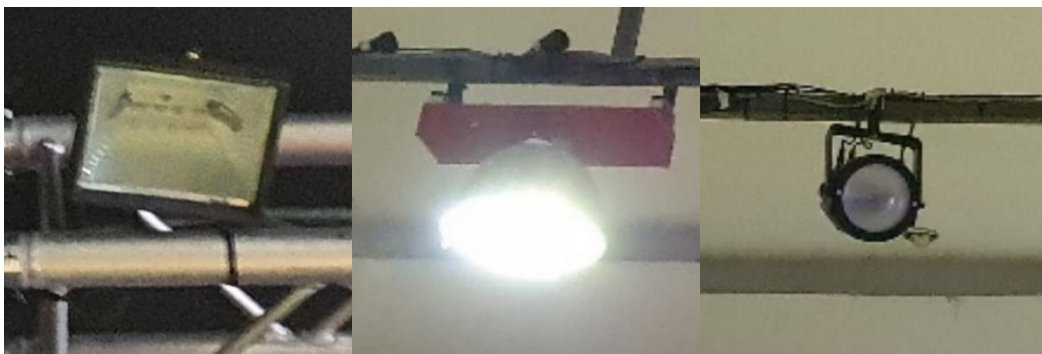


Figura 48. Focus sala d'actes: 3 tipus A (esquerra), 2 tipus B (mig) i 6 tipus C (dreta) (font pròpia).

- **Espais afectats per la reforma de 2017.** Degut a la poca antiguitat de la reforma, he considerat que la il·luminació en aquests espais és amb tubs LED, amb una potència estimada de 18 W cadascun.
 - Sala de professors: 7 tubs LED.
 - Aula Batxillerat (ID02): 7 tubs LED.
 - Aula Batxillerat (ID03): 9 tubs LED.

La reforma de 2017 ha afectat al recompte dels fluorescents dels plànols (consultables als annexos), concretament els fluorescents A8. Ja ho he tingut en compte a l'hora de fer el recompte final de tots els llums de l'institut, que es pot veure a continuació.

Nom	Potència [W]	Quantitat	P _{TOTAL} [W]	Ubicació
Il·luminació interior (potència total 29.822 W)				
Tub fluorescent de 36 W	36	473	17.028	Institut
	36	20	720	Vestidors
Tub fluorescent de 58 W	58	85	4.930	Institut
	58	4	232	Gimnàs
	58	4	232	Vestidors
Tubs LED reforma 2017	18	23	414	Reforma 2017
Tub fluorescent sala d'actes	36	6	216	Sala d'actes
Focus tipus A	150	3	450	Sala d'actes
Focus tipus B	250	2	500	Sala d'actes
Focus tipus C	250	6	1.500	Sala d'actes
Gewiss-Hercules halogenur met.	250	12	3.000	Gimnàs
Projector 150 W halogenur met.	150	4	600	Gimnàs
Il·luminació exterior (potència total 6.220 W)				
Tub fluorescent de 36 W	36	3	108	Porxo SE
	36	1	36	Escales emerg.
Tub fluorescent de 58 W	58	8	464	Porxo NO
	58	14	812	Passadís gimnàs
Llums porxo entrada SE	50	4	200	Porxo SE
Faroles façana	100	6	600	Façanes SE-SO
Projector per a làmpada halògena	150	4	600	Façana NE
Enllumenat pista	400	6	2.400	Pista
Enllumenat exterior gimnàs	-	-	1.000	Exterior gimnàs
Il·luminació emergència (potència total 3.500 W)				
Enllumenat emergència institut	100	32	3.200	Institut
Enllumenat emergència sala d'actes	100	1	100	Sala d'actes
Enllumenat emergència gimnàs	100	2	200	Gimnàs/Vest.

Taula 16. Equips d'il·luminació (font pròpia).

A partir d'aquestes dades podem estudiar la distribució de la potència segons el tipus d'il·luminació.

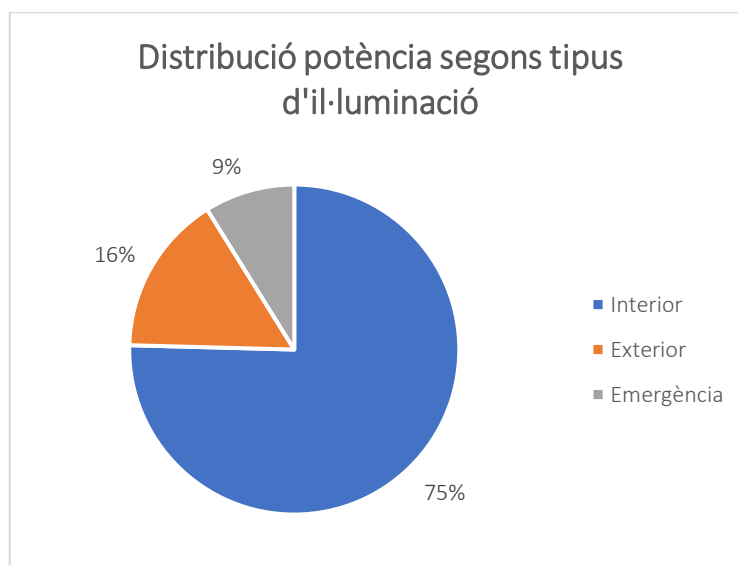


Figura 49. Distribució potència segons tipus d'il·luminació (font pròpia).

Aquestes dades són interessants, ja que normalment no utilitzarem els tres tipus d'il·luminació simultàniament. A més a més, durant el dia mai estan encesos tots els llums de l'institut. Això podria

indicar que la potència està sobredimensionada, i hi hauria la possibilitat de reduir la potència contractada.

Dels tubs fluorescents, n'hi ha algun que ja ha estat canviat per tecnologia LED, tot i que la gran majoria continuen sent fluorescents. Aquí hi ha una altra mesura de millora potencial: canviar la totalitat dels fluorescents del centre (més de 600) per tubs LED. S'aconseguiria una millor il·luminació amb un consum molt menor que, a la llarga, acabaria compensant la inversió inicial.

Aquestes dues mesures de millora les analitzo detalladament a l'apartat 5 de la memòria.

3.5.6 Equips de bombeig

Els equips de bombeig consten de 12 bombes diferents, detallades a la següent taula. No he aconseguit saber la potència de les bombes de l'institut, per la qual cosa he definit per defecte la màxima potència especificada per cada model (a excepció de la PC-1055, a la qual he assignat la mateixa potència que la bomba homòloga del gimnàs). Una de les bombes de l'institut està destinada a l'ACS de la cuina i la cafeteria (com que no he pogut saber quina és, he assignat la primera per defecte).

Nom	Model	Marca	Potència [W]	Tipus
Institut (definides per defecte)				
GRUNDFOS 1	UPS 25-80	GRUNDFOS	165 ^[18]	ACS
GRUNDFOS 2	UPS 25-80	GRUNDFOS	165	Calefacció
GRUNDFOS 3	UPS 25-80	GRUNDFOS	165	Calefacció
GRUNDFOS 4	UPS 25-80	GRUNDFOS	165	Calefacció
GRUNDFOS 5	UPS 25-120	GRUNDFOS	235 ^[19]	Calefacció
GRUNDFOS 6	UPS 25-120	GRUNDFOS	235	Calefacció
GRUNDFOS 7	UPS 25-120	GRUNDFOS	235	Calefacció
ROCA 1	PC-1055	ROCA	180	Calefacció
Gimnàs				
B1. Recirculació ACS	SB-10YA	ROCA	56	ACS
B2. Circuit prevenció legionel·la	SB-10YA	ROCA	56	ACS
B3. Energia solar	PC-1035	ROCA	95	ACS
B4. Primari edifici gimnàs	PC-1055	ROCA	180	Calefacció/ACS

Taula 17. Equips de bombeig (font pròpia).

Per l'estimació d'hores de funcionament de les bombes de calefacció he considerat el següent:

- Els mesos de juny, juliol, agost i setembre no hi ha consum de calefacció.
- L'ocupació d'un mes normal s'ha establert en el 66,67%, ja que l'escola en un mes tipus de 30 dies només en funciona 20.
- S'estima que la calefacció està oberta 10 hores diàries els dies de classe.

De la mateixa manera, per ACS:

- Els mesos de juliol i agost no hi ha consum d'aigua.
- L'ocupació d'un mes normal s'ha establert en el 66,67%, ja que l'escola en un mes tipus de 30 dies només en funciona 20.
- S'estima una activitat de 10 hores diàries els dies de classe.

Així doncs, l'estimació del nombre d'hores de demanda anual és:

$$D_{calef} = \frac{9}{12} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{10}{24} \cdot 365 \text{ dies} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} = 1.825 \text{ hores}$$

$$D_{ACS} = \frac{10}{12} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{10}{24} \cdot 365 \text{ dies} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} = 2.027,78 \text{ hores}$$

3.6 Consums

En aquest apartat es detalla tota la informació interessant de cara a l'estudi de certificació energètica i la posterior auditoria relacionada amb els consums de l'institut. El següent gràfic mostra la distribució del consum total de l'institut (electricitat i gas) al llarg de l'any. Són els valors mitjans als quals s'ha arribat després de fer els càlculs pertinents, definits a continuació.

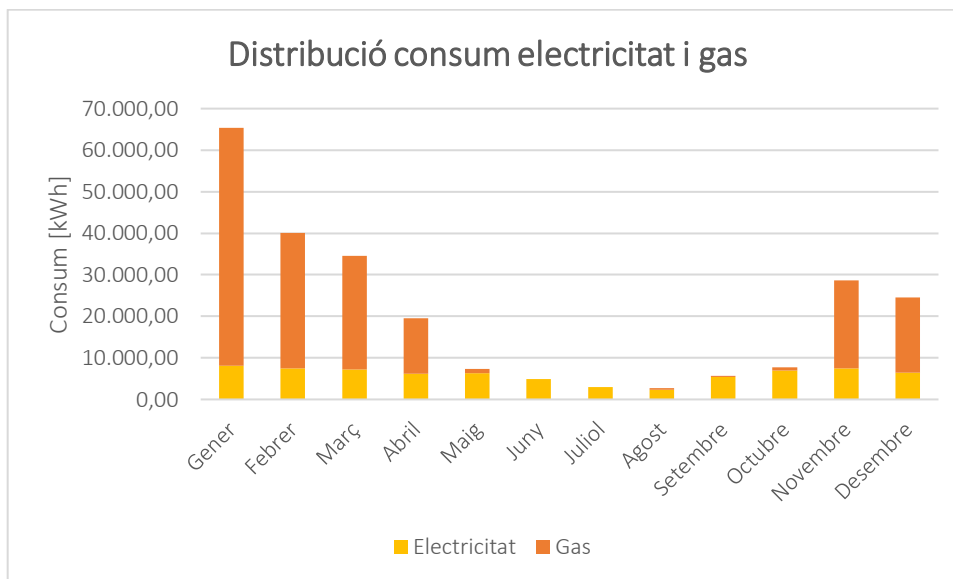


Figura 50. Consum mensual d'electricitat i gas (font pròpia).

A trets generals podem veure que el gas, destinat principalment a calefacció, suposa la major part del consum. El consum d'electricitat es manté força estable, tot i que menor els mesos d'estiu. En canvi, el consum de gas és estacional, sent major els mesos freds i arribant a ser nul els mesos d'estiu. Tot això es comenta més detalladament al llarg d'aquesta secció.

3.6.1 Electricitat

L'institut disposa de dos contractes d'electricitat:

- **Edifici principal.** Correspon a l'electricitat subministrada a tot l'institut amb l'excepció del gimnàs. La potència contractada és de 87 kW.
- **Gimnàs.** Correspon a l'electricitat subministrada al gimnàs, edifici acabat de construir el 2011. La potència contractada és de 20,785 kW.

La tarifa contractada per l'edifici principal i el gimnàs és la mateixa, la 3.0A. Aquesta tarifa deixarà de ser vàlida el juny de 2021, quan s'apliqui el nou sistema de peatges de transport i distribució d'electricitat publicat al BOE ^[20].

L'empresa comercialitzadora d'electricitat contractada per l'institut des de gener de 2019 és NEXUS ENERGÍA S.A., la qual assegura que l'origen de l'energia consumida és 100% renovable. Això implica que l'impacte ambiental associat sigui mínim. L'energia té una classificació A en emissions de CO₂ (0,00 kg de CO₂ per kWh) i en residus radioactius (0,00 mg per kWh). Abans de 2019 la comercialitzadora era Naturgy.

A les següents taules pot veure's el consum d'electricitat i la seva evolució del desembre de 2018 al febrer de 2021.

Període	Lloc	Data inici	Data fi	Consum [kWh]	Import [€]
Febr-18	Institut	01/02/2018	28/02/2018	7.593	Sense dades
	Gimnàs	23/01/2018	05/03/2018	622	Sense dades
Subtotal febrer 2018				8.215	Sense dades
Març-18	Institut	01/03/2018	31/03/2018	7.109	Sense dades
	Gimnàs	06/03/2018	03/04/2018	246	Sense dades
Subtotal març 2018				7.355	Sense dades
Abr-18	Institut	01/04/2018	30/04/2018	6.344	Sense dades
	Gimnàs	04/04/2018	02/05/2018	125	Sense dades
Subtotal abril 2018				6.469	Sense dades
Maig-18	Institut	01/05/2018	31/05/2018	6.224	Sense dades
	Gimnàs	03/05/2018	04/06/2018	121	Sense dades
Subtotal maig 2018				6.345	Sense dades
Juny-18	Institut	01/06/2018	30/06/2018	5.226	Sense dades
	Gimnàs	Sense dades	Sense dades	Sense dades	Sense dades
Subtotal juny 2018				Sense dades	Sense dades
Jul-18	Institut	01/07/2018	31/07/2018	2.776	Sense dades
	Gimnàs	Sense dades	Sense dades	Sense dades	Sense dades
Subtotal juliol 2018				Sense dades	Sense dades
Ag-18	Institut	01/08/2018	31/08/2018	2.220	Sense dades
	Gimnàs	Sense dades	Sense dades	Sense dades	Sense dades
Subtotal agost 2018				Sense dades	Sense dades
Set-18	Institut	01/09/2018	30/09/2018	5.275	Sense dades
	Gimnàs	Sense dades	Sense dades	Sense dades	Sense dades
Subtotal setembre 2018				Sense dades	Sense dades
Oct-18	Institut	01/10/2018	31/10/2018	6.956	Sense dades
	Gimnàs	03/10/2018	05/11/2018	157	Sense dades
Subtotal octubre 2018				7.113	Sense dades
Nov-18	Institut	01/11/2018	30/11/2018	6.984	Sense dades
	Gimnàs	06/11/2018	04/12/2018	230	175,74
Subtotal novembre 2018				7.214	Sense dades
Des-18	Institut	01/12/2018	31/12/2018	5.957	1.403,33
	Gimnàs	05/12/2018	31/12/2018	557	223,09
Subtotal desembre 2018				6.514	1.626,42
PARCIAL 2018				Sense dades	Sense dades

Taula 18. Consum i import electricitat any 2018 (parcial) (font: factures).

Període	Lloc	Data inici	Data fi	Consum [kWh]	Import [€]
Gen-19	Institut	01/01/2019	31/01/2019	8.557	1.708,88
	Gimnàs	01/01/2019	04/02/2019	550	245,79
Subtotal gener 2019				9.107	1.954,67
Febr-19	Institut	01/02/2019	28/02/2019	7.577	1.433,55
	Gimnàs	05/02/2019	05/03/2019	253	174,14
Subtotal febrer 2019				7.830	1.607,69
Març-19	Institut	01/03/2019	31/03/2019	6.800	1.356,69
	Gimnàs	06/03/2019	05/04/2019	269	184,39
Subtotal març 2019				7.069	1.541,08
Abr-19	Institut	01/04/2019	30/04/2019	5.722	1.257,49
	Gimnàs	06/04/2019	03/05/2019	242	166,29
Subtotal abril 2019				5.964	1.423,78
Maig-19	Institut	01/05/2019	31/05/2019	5.950	1.271,29
	Gimnàs	04/05/2019	05/06/2019	288	194,80

Subtotal maig 2019				6.238	1.466,09
Juny-19	Institut	01/06/2019	30/06/2019	4.636	1.090,85
	Gimnàs	06/06/2019	01/07/2019	186	148,65
Subtotal juny 2019				4.822	1.239,50
Jul-19	Institut	01/07/2019	31/07/2019	2.797	939,32
	Gimnàs	02/07/2019	02/08/2019	162	176,72
Subtotal juliol 2019				2.959	1.116,04
Ag-19	Institut	01/08/2019	31/08/2019	2.244	857,61
	Gimnàs	03/08/2019	04/09/2019	167	180,88
Subtotal agost 2019				2.411	1.038,49
Set-19	Institut	01/09/2019	30/09/2019	5.129	1.103,63
	Gimnàs	05/09/2019	03/10/2019	186	163,50
Subtotal setembre 2019				5.315	1.267,13
Oct-19	Institut	01/10/2019	31/10/2019	6.510	1.310,58
	Gimnàs	04/10/2019	06/11/2019	378	208,35
Subtotal octubre 2019				6.888	1.518,93
Nov-19	Institut	01/11/2019	30/11/2019	6.966	1.290,04
	Gimnàs	07/11/2019	05/12/2019	529	199,43
Subtotal novembre 2019				7.495	1.489,47
Des-19	Institut	01/12/2019	31/12/2019	5.958	1.148,05
	Gimnàs	06/12/2019	20/01/2020	833	276,07
Subtotal desembre 2019				6.791	1.424,12
TOTAL 2019				72.889	17.086,99

Taula 19. Consum i import electricitat any 2019 (font: factures).

Període	Lloc	Data inici	Data fi	Consum [kWh]	Import [€]
Gen-20	Institut	01/01/2020	31/01/2020	7.374	1.323,87
	Gimnàs	21/01/2020	03/02/2020	187	87,82
Subtotal gener 2020				7.561	1.411,69
Febr-20	Institut	01/02/2020	29/02/2020	6.577	1.145,06
	Gimnàs	04/02/2020	03/03/2020	412	179,14
Subtotal febrer 2020				6.989	1.324,20
Març-20	Institut	01/03/2020	31/03/2020	4.341	948,45
	Gimnàs	04/03/2020	05/04/2020	0	165,03
Subtotal març 2020				4.341	1.113,48
Abr-20	Institut	01/04/2020	30/04/2020	1.905	735,15
	Gimnàs	06/04/2020	05/05/2020	283	165,67
Subtotal abril 2020				2.188	900,82
Maig-20	Institut	01/05/2020	31/05/2020	1.875	760,22
	Gimnàs	06/05/2020	01/06/2020	99	141,12
Subtotal maig 2020				1.974	901,34
Juny-20	Institut	01/06/2020	30/06/2020	2.138	780,40
	Gimnàs	02/06/2020	02/07/2020	213	170,68
Subtotal juny 2020				2.351	951,08
Jul-20	Institut	01/07/2020	31/07/2020	2.949	878,93
	Gimnàs	03/07/2020	03/08/2020	133	170,15
Subtotal juliol 2020				3.082	1.049,08
Ag-20	Institut	01/08/2020	31/08/2020	2.197	822,18
	Gimnàs	04/08/2020	04/09/2020	159	173,11
Subtotal agost 2020				2.356	995,29
Set-20	Institut	01/09/2020	30/09/2020	5.391	1.135,66
	Gimnàs	05/09/2020	08/10/2020	297	197,00

Subtotal setembre 2020				5.688	1.332,66
Oct-20	Institut	01/10/2020	31/10/2020	6.861	1.259,40
	Gimnàs	09/10/2020	03/11/2020	291	156,56
Subtotal octubre 2020				7.152	1.415,96
Nov-20	Institut	01/11/2020	30/11/2020	7.219	1.315,00
	Gimnàs	04/11/2020	02/12/2020	425	187,38
Subtotal novembre 2020				7.644	1.502,38
Des-20	Institut	01/12/2020	31/12/2020	5.747	1.221,82
	Gimnàs	03/12/2020	05/01/2021	618	232,05
Subtotal desembre 2020				6.365	1.453,87
TOTAL 2020				57.691	14.351,85

Taula 20. Consum i import electricitat any 2020 (font: factures).

Període	Lloc	Data inici	Data fi	Consum [kWh]	Import [€]
Gen-21	Institut	01/01/2021	31/01/2021	6.984	1.584,11
	Gimnàs	06/01/2021	02/02/2021	441	196,38
Subtotal gener 2021				7.425	1.780,49
Febr-21	Institut	01/02/2021	28/02/2021	6.464	1.091,23
	Gimnàs	03/02/2021	03/03/2021	413	180,07
Subtotal febrer 2021				6.877	1.271,30
PARCIAL 2021				14.302	3.051,79

Taula 21. Consum i import electricitat any 2021 (parcial) (font: factures).

Els períodes de facturació de l'institut i el gimnàs són diferents. Això pot arribar a distorsionar en certa manera les conclusions extretes dels consums. És per això que he decidit adaptar els consums del gimnàs al període de facturació de l'institut. Per exemple, en el cas del gener de 2020:

Lloc	Data inici	Data fi	Dies	Consum [kWh]	Import [€]
Institut	01/01/2020	31/01/2020	31	7.374	1.323,87
Gimnàs	21/01/2020	03/02/2020	14	187	87,82
Subtotal gener 2020 INICIAL				7.561	1.411,69
Institut	01/01/2020	31/01/2020	31	7.374	1.323,87
Gimnàs-01	01/01/2020	20/01/2020	20	362,17	120,03
Gimnàs-02	21/01/2020	31/01/2020	11	146,93	69,00
Subtotal gener 2020 FINAL				7.883,10	1.512,90

Taula 22. Càlcul consum inicial i final d'electricitat (gener 2020) (font pròpia).

El període de facturació del gimnàs corresponent al desembre de 2019 (06/12/2019 a 20/01/2020) té 46 dies. El període corresponent al gener de 2020 (21/01/2020 a 03/02/2020) té 14 dies. Sabent això, el càlcul dels consums i els imports de la taula anterior és el següent:

$$C_{gimnàs-01} = \frac{20}{46} \cdot 833 = 362,17 \text{ kWh}; \quad I_{gimnàs-01} = \frac{20}{46} \cdot 276,07 = 120,03 \text{ €}$$

$$C_{gimnàs-02} = \frac{11}{14} \cdot 187 = 146,93 \text{ kWh}; \quad I_{gimnàs-01} = \frac{11}{14} \cdot 87,82 = 69,00 \text{ €}$$

Així doncs, veiem una diferència de més de 300 kWh i 100 € en comparació amb el cas anterior. Tot i que aquest és el cas més extrem de les dades recollides, convé unificar correctament els consums per a obtenir uns resultats més rigorosos.

Repetim els càlculs anteriors de manera anàloga a la resta de mesos estudiats. A partir dels resultats, que recollim a la següent taula, podem obtenir el consum i l'import d'electricitat mitjans per a cada mes de l'any.

En vermell hi ha ressaltats els valors afectats pel confinament degut a la pandèmia de la COVID-19, que no he tingut en compte a l'hora de fer les mitjanes. El tancament d'escoles i instituts es va iniciar el 13 de març^[21], i no es va tornar a una certa normalitat fins al curs següent, per la qual cosa he decidit ometre els mesos de març, abril, maig i juny de 2020. Hi ha una gran diferència entre aquests valors i els dels mesos homòlegs de 2019.

	2018		2019		2020		2021		Mitjana			
	Consum [kWh]	Import [€]	Consum [kWh]	Import [€]	Consum [kWh]	Import [€]	Consum [kWh]	Import [€]	Consum [kWh]	Import [€]		
Gener	S. dades	Sense dades	9.044,14	1.926,58	7.883,10	1.512,90	7.484,38	1.800,59	8.137,21	1.746,69		
Febrer	8.007,67		7.849,24	1.605,76	6.986,45	1.324,49	6.865,78	1.266,70	7.427,29	1.398,98		
Març	7.403,60		7.069,23	1.541,36	4.383,62	1.107,01	Sense dades	Sense dades	7.236,42	1.541,36		
Abril	6.485,83		5.981,46	1.435,70	2.140,83	898,21			6.233,65	1.435,70		
Maig	6.338,95		6.220,29	1.454,39	2.017,50	923,73			6.279,62	1.454,39		
Juny	Sense dades		4.858,48	1.263,30	2.340,92	945,30			4.858,48	1.263,30		
Juliol			2.956,03	1.110,71	3.083,27	1.044,14			3.019,65	1.077,43		
Agost			2.400,88	1.027,61	2.348,59	989,60			2.374,74	1.008,61		
Setembre			5.316,00	1.272,14	5.637,99	1.307,95			5.477,00	1.290,05		
Octubre			6.840,54	1.499,08	7.188,31	1.444,25			7.014,43	1.471,67		
Novembre			7.205,36	7.470,50	1.491,85	7.648,27			1.507,52	7.441,38	1.499,69	
Desembre			6.545,72	6.520,03	1.338,47	6.303,43			1.432,67	6.456,39	1.473,93	
TOTAL			72.526,83	16.966,96	57.962,29	14.437,76					64.719,84	15.120,44

Taula 23. Càlcul mitjana dels consums i imports mensuals d'electricitat (font pròpia).

A continuació es pot observar l'evolució del consum mitjà d'electricitat al llarg de l'any. Naturalment, els mesos en què hi ha classe el consum és major, i disminueix els mesos d'estiu. Els mesos més freds és normal que hi hagi un major consum. La baixada de consum el mes de desembre s'explica per l'existència d'un gran nombre de dies festius.

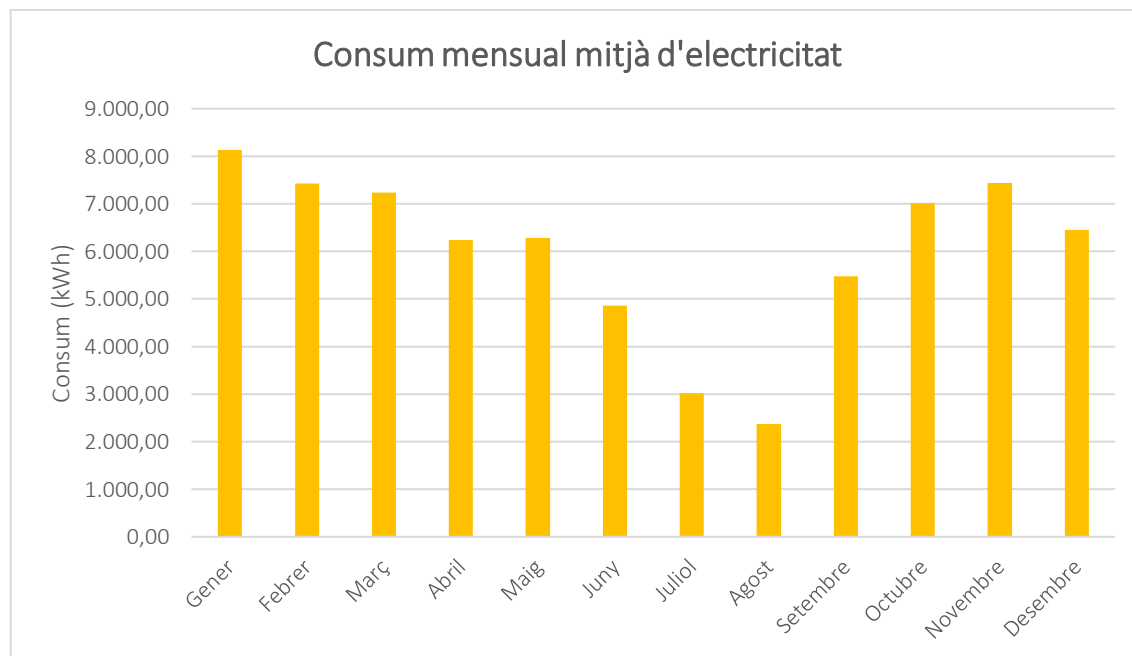


Figura 51. Consum mensual mitjà d'electricitat (font pròpia).

3.6.2 Gas natural

La comercialitzadora de gas natural contractada per l'institut és Gashogar Energia. A la següent taula hi ha descrites les dades extretes de les factures de novembre de 2018 a març de 2021.

Període	Data inici	Data fi	Consum [m ³]	Consum [kWh]	Import [€]
Nov-18	12/11/2018	04/12/2018	1.423	15.814	945,87
Des-18	04/12/2018	03/01/2019	1.619	18.055	1.099,47
PARCIAL 2018 (2 mesos)			3.042	33.869	2.045,34
Gen-19	03/01/2019	05/02/2019	5.143	57.175	3.240,15
Febr-19	05/02/2019	28/02/2019	2.755	30.509	1.750,72
Març-19	28/02/2019	02/04/2019	2.209	24.511	1.462,79
Abr-19	02/04/2019	30/04/2019	1.183	13.280	832,36
Maig-19	30/04/2019	30/05/2019	95	1.049	174,29
Juny-19	30/05/2019	05/07/2019	0	0	142,08
Jul-19	05/07/2019	06/08/2019	0	0	125,26
Ag-19	06/08/2019	29/08/2019	34	376	109,58
Set-19	29/08/2019	01/10/2019	23	253	143,78
Oct-19	01/10/2019	06/11/2019	0	0	239,69
Nov-19	06/11/2019	03/12/2019	0	0	105,77
Des-19	03/12/2019	08/01/2020	0	0	141,33
TOTAL 2019			11.442	127.153	8.467,80
Gen-20	08/01/2020	04/02/2020	0	0	105,38
Febr-20	04/02/2020	05/03/2020	0	0	118,52
Març-20	05/03/2020	06/04/2020	0	0	125,40
Abr-20	06/04/2020	05/05/2020	0	0	113,80
Maig-20	05/05/2020	04/06/2020	0	0	117,32
Juny-20	04/06/2020	06/07/2020	0	0	125,91
Jul-20	06/07/2020	06/08/2020	0	0	121,24
Ag-20	06/08/2020	04/09/2020	0	0	113,30
Set-20	04/09/2020	02/10/2020	13.558	148.501	7.699,59
Oct-20	02/10/2020	30/10/2020	68	746	143,70
Nov-20	30/10/2020	02/12/2020	2.419	26.655	1.363,33
Des-20	02/12/2020	04/01/2021	0	0	129,28
TOTAL 2020			16.045	175.902	10.276,77
Gen-21	04/01/2021	04/02/2021	6.582	72.626	3.481,90
Febr-21	04/02/2021	03/03/2021	3.164	34.823	1.718,33
Març-21	03/03/2021	06/04/2021	2.737	30.227	1.532,02
PARCIAL 2021 (3 mesos)			6.582	72.626	3.481,90

Taula 24. Consum i import gas natural (font: factures).

Les dades del consum del gas són bastant variables, ja que en funció de les temperatures que hi hagi hagut poden variar considerablement d'un any a l'altre. A més a més, en vermell he ressaltat totes aquelles lectures que he decidit descartar, pels següents motius:

- **Octubre 2019 a setembre 2020.** Tot i l'efecte del confinament, el motiu pel que he descartat aquestes mesures és el fet que siguin totes zero fins el setembre de 2020, quan es factura el consum acumulat de gas durant aquests mesos.
- **Desembre 2020 a gener 2021.** El mes de desembre de 2020 la lectura del comptador va ser estimada. Tot i així, l'estimació és incorrecta, ja que el consum seria nul. El mes de gener de 2021 sembla que s'hagi facturat conjuntament el gas dels dos mesos esmentats, per la qual cosa també he decidit descartar-lo.

Així doncs, el consum i l'import mensuals mitjans serien els següents:

	2018		2019		2020		2021		Mitjana	
	Consum [m³]	Consum [kWh]	Consum [m³]	Consum [kWh]	Consum [m³]	Consum [kWh]	Consum [m³]	Consum [kWh]	Consum [m³]	Consum [kWh]
Gener	Sense dades	Sense dades	5.143	57.175	0	0	6.582	72.626	5.143	57.175
Febrer			2.755	30.509	0	0	3.164	34.823	2.959,50	32.666
Març			2.209	24.511	0	0	2.737	30.227	2.473	27.369
Abril			1.183	13.280	0	0	Sense dades	Sense dades	1.183	13.280
Maig			95	1.049	0	0			95	1.049
Juny			0	0	0	0			0	0
Juliol			0	0	0	0			0	0
Agost			34	376	0	0			34	376
Setembre			23	253	13.558	148.501			23	253
Octubre			0	0	68	746			68	746
Novembre	1.423	15.814	0	0	2.419	26.655			1.921	21.234,50
Desembre	1.619	18.055	0	0	0	0			1.619	18.055
TOTAL										15.519

Taula 25. Càlcul mitjana del consum mensual de gas (font pròpia).

	2018		2019		2020		2021		Mitjana	
	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	Import [€]	
Gener	Sense dades	Sense dades	3.240,15	105,38	3.481,90	3.240,15				
Febrer			1.750,72	118,52	1.718,33	1.734,53				
Març			1.462,79	125,40	1.532,02	1.497,41				
Abril			832,36	113,80	832,36					
Maig			174,29	117,32	174,29					
Juny			142,08	125,91	142,08					
Juliol			125,26	121,24	125,26					
Agost			109,58	113,30	109,58					
Setembre			143,78	7.699,59	143,78					
Octubre			239,69	143,70	143,70					
Novembre	945,87	105,77	1.363,33	1.154,60						
Desembre	1.099,47	141,33	129,28	1.099,47						
TOTAL						10.397,21				

Taula 26. Càlcul mitjana de l'import mensual de gas (font pròpia).

Partint de les dades del consum mitjà, veiem que aquest és nul durant els mesos de juliol i agost, quan no és necessària. Els mesos de maig, agost, setembre i octubre, el consum és quasi mínim.

Tot i així, quan entrem als mesos més freds de l'any el consum de gas es dispara per a satisfer la demanda de calefacció. Gener i febrer són els mesos amb més consum amb diferència.

Les dades obtingudes ens serveixen per a tenir una corba aproximada de la distribució del consum de gas al llarg de l'any. De totes maneres, com que s'han hagut de descartar bastantes mesures pels motius detallats anteriorment, les dades només són orientatives. El consum de gas al llarg dels anys és força variable, ja que depèn directament del clima i la temperatura que hi hagi hagut.

A més a més també he tingut en compte els consums de gas a partir d'octubre de 2020. A causa de les mesures per lluitar contra la pandèmia, és necessari obrir les finestres per a ventilar les aules, cosa que provoca un augment del consum de gas. Efectivament, si mirem els consums d'octubre de 2020 a març de 2021, els consums són superiors que en els mateixos mesos d'altres anys.

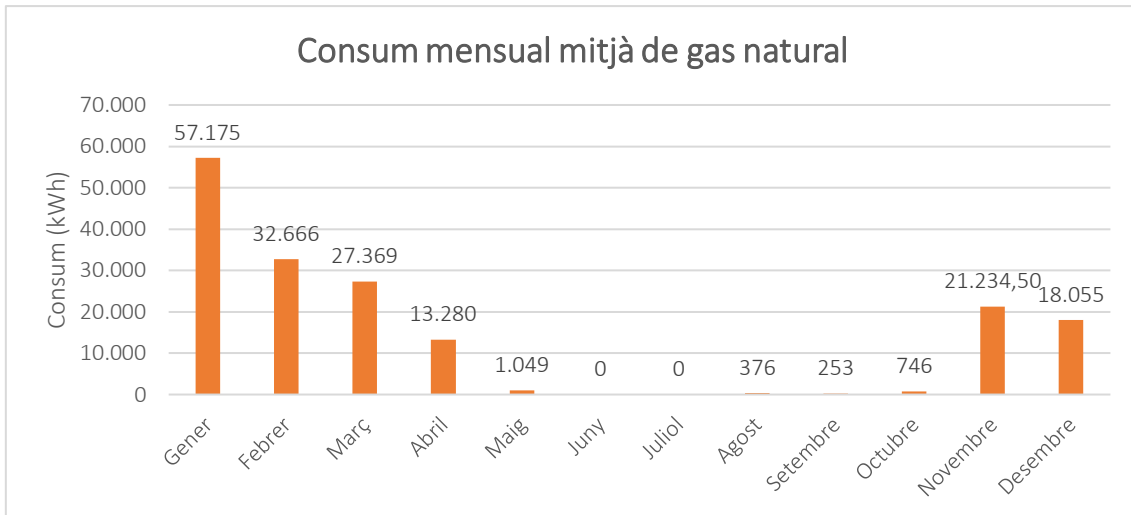


Figura 52. Consum mensual mitjà de gas natural (font pròpia).

3.6.3 Aigua

L'empresa de subministrament de l'aigua és Sorea (Grup Agbar). Les factures tenen una periodicitat trimestral.

Període	Data inici	Data fi	Consum [m ³]	Import [€]
2019/01	16/11/2018	15/02/2019	1.157	1.990,91
2019/02	15/02/2019	16/05/2019	284	621,25
2019/03	16/05/2019	14/08/2019	30	63,62
2019/04	14/08/2019	14/11/2019	204	446,44
TOTAL 2019			1.675	3.122,22
2020/01	14/11/2019	12/02/2020	154	337,18
2020/02	12/02/2020	12/05/2020	98	194,24
2020/03	12/05/2020	11/08/2020	117	245,59
2020/04	11/08/2020	10/11/2020	18	38,62
TOTAL 2020			387	815,63

Taula 27. Volum i import trimestrals del consum d'aigua dels anys 2019 i 2020 (font: factures).

Per al càlcul del cànon de l'aigua, l'institut segueix un model de DUCA abreujada, que implica l'aplicació del règim ordinari^[22]. En el règim ordinari el preu està fixat per la llei de pressupostos de la Generalitat de Catalunya^[23].

El cànon de l'aigua està calculat a partir de dos tipus de gravamen^[24]:

- Tipus de gravamen general: 0,1654 €/m³.
- Tipus de gravamen específic: 0,6486 €/m³.

A causa de la situació excepcional causada per la COVID-19, durant el període comprès entre l'1 d'abril i el 31 de maig de 2020 el tipus de gravamen general és de 0,0827 €/m³ i l'específic de 0,3243 €/m³.

A més a més, a causa de les restriccions en la mobilitat, les lectures dels períodes 2020/02 i 2020/03 no van poder realitzar-se. En conseqüència, les factures d'aquests dos períodes es basen en estimacions. La diferència amb el consum real s'ha tingut en compte a la factura del període 2020/04 (es resten 215 m³ de la lectura del comptador dels tres trimestres, 233 m³).

Per al càlcul del consum diari d'aigua a l'institut he decidit ometre el període 2019/01, ja que té un consum excessiu i anormal. De la mateixa manera, tampoc he considerat el consum dels períodes 2020/02, 2020/03 i 2020/04 per les afectacions de la COVID-19. Així doncs, el consum d'aigua s'ha

deduït a partir dels consums dels períodes 2019/02, 2019/03, 2019/04 i 2020/01 (del 15/02/2019 al 12/02/2020, un total de 363 dies).

El consum d'aigua diari és:

$$C_{diari} = \frac{V_{19/02} + V_{19/03} + V_{19/04} + V_{20/01}}{t} = \frac{284 + 30 + 204 + 154}{363} = 1,85 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$C_{diari} = 1,85 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} \cdot \frac{1000 \text{ dm}^3}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ l}}{1 \text{ dm}^3} = 1.851 \text{ l}/\text{dia}$$

I l'evolució del consum:

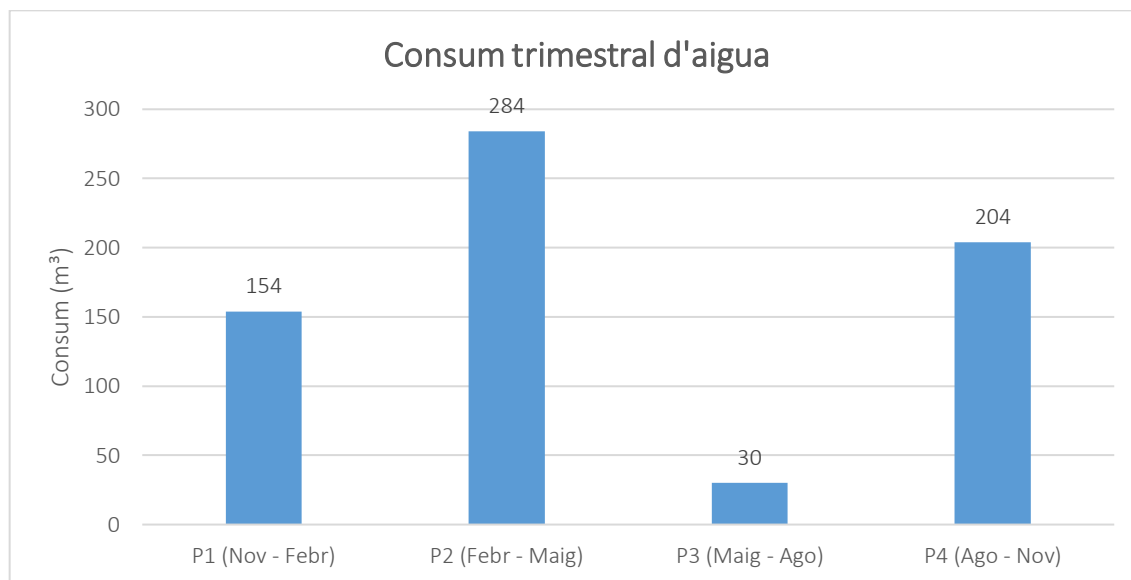


Figura 53. Consum trimestral d'aigua (font pròpia).

Quan el consum d'aigua és major és entre els mesos de febrer i maig, mentre que a l'estiu, en no haver-hi activitat escolar, és mínim.

Pel que fa al consum d'ACS, només n'hi ha a la cuina, a la cafeteria i als vestidors del gimnàs. Com que no tinc dades del consum exacte d'ACS en faré una estimació a partir de l'Annex F del document bàsic HE4 ^[25]. Segons aquest document, la demanda orientativa d'ACS pels espais que ens afecten és:

- Cuina (restaurant): 8 litres per dia i persona.
- Cafeteria: 1 litres per dia i persona.
- Vestidors: 21 dies per dia i persona.

Considerant una ocupació mitjana de la cuina i la cafeteria de 200 persones al dia i una ocupació mitjana de les dutxes de 40 persones al dia, obtenim que el consum diari d'ACS és de:

$$C_{ACS, inicial} = C_{cuina} + C_{vestidors} = 1.800 + 840 = 2.640 \text{ l}/\text{dia}$$

Tot i així, aquest valor és més elevat que el consum diari d'aigua segons les factures. Això és perquè no hem considerat l'ocupació de l'institut. Utilitzem les mateixes hipòtesis que en el càlcul de les hores d'ús de les bombes:

- Els mesos de juliol i agost no hi ha consum d'aigua.
- L'ocupació d'un mes normal s'ha establert en el 66,67%, ja que l'escola en un mes tipus de 30 dies només en funciona 20.

Així doncs el consum d'ACS és:

$$C_{ACS,final} = \frac{10}{12} \cdot \frac{20}{30} \cdot 2.640 = 1.466,67 \text{ l/dia}$$

Així doncs, el termoelèctric cobriria un 68% de la demanda. Del 32% restant, que correspon als vestidors, un 60% estaria cobert per les plaques solars (és a dir, un 19% del total) i la resta per les calderes de gas natural.

4 Certificacions energètiques

Tal i com s'ha comentat anteriorment, per a certificar energèticament l'institut utilitzaré el programa CE3X. Tota la informació d'utilitat per a la certificació ja ha estat detallada a l'anterior apartat.

En primer lloc, realitzaré una certificació energètica simplificada per a obtenir unes qualificacions inicials. A continuació, realitzaré una certificació exhaustiva amb més dades que les utilitzades a la simplificada. Finalment, faré una certificació a partir dels consums d'electricitat i gas extrets de les factures, i compararé els resultats obtinguts a les tres certificacions.

4.1 Certificació simplificada

Per a realitzar aquesta primera certificació he introduït al programa la informació recollida a l'apartat 3. He omplert les quatre pestanyes principals del programa. Alguns detalls, com els patrons d'ombres, els he deixat per a la certificació exhaustiva.

The screenshot shows the 'Datos administrativos' tab in the CE3X software. It contains the following data:

- Localización e identificación del edificio:** Nombre del edificio: INS Manuel de Pedrolo; Dirección: Avinguda Tàrraga, 2; Provincia/Ciudad autónoma: Lleida; Localidad: Otro; Código Postal: 25300; Referencia Catastral: 5219801CG41625000 PFX; Tàrraga.
- Datos del cliente:** Nombre o razón social: INS Manuel de Pedrolo; Dirección: Avinguda Tàrraga, 2; Provincia/Ciudad autónoma: Lleida; Localidad: Tàrraga; Código Postal: 25300; Teléfono: 973110836; E-mail: c500498@xtec.cat.
- Datos del técnico certificador:** Nombre y Apellidos: Eloi Sol Vilaplana; Razon social: Universitat Politècnica de Catalunya (ESEIAAT); Dirección: Carrer de Colom, 11; Provincia/Ciudad autónoma: Barcelona; Localidad: Terrassa; Código Postal: 08222; Teléfono: [redacted]; E-mail: eloi.sol@estudiantat.upc.edu; Titulación habilitante según normativa vigente: Estudiant grau en enginyeria en tecnologies industrials (no habilitant).

Figura 54. Dades administratives CE3X (font: CE3X).

The screenshot shows the 'Datos generales' tab in the CE3X software. It contains the following data:

- Datos generales:** Normativa vigente: Anterior; Año construcción: 1965; Tipo de edificio: Edificio completo; Perfi de uso: Intensidad Media - 8h; Provincia/Ciudad autónoma: Lleida; Localidad: Otro; Zona climática: D3; HE-1: IV; HE-4: IV.
- Definición edificio:** Superficie útil habitable: 3977.53 m²; Altura libre de planta: 3.15 m; Número de plantas habitables: 3; Ventilación del inmueble: 0.8 m³/h; Demanda diaria de ACS: 1851 l/día; Masa de las particiones internas: Media; se ha ensayado la estanqueidad del edificio.

Additional features include a photo of the building and a location map.

Figura 55. Dades generals CE3X (font: CE3X).

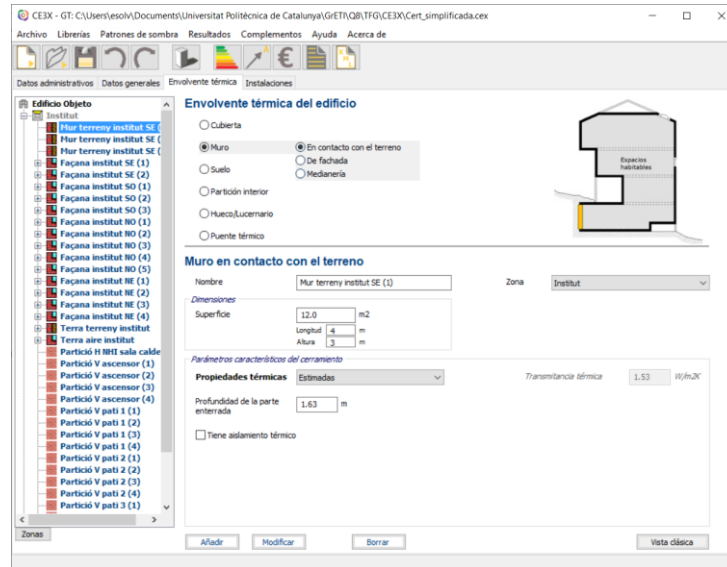


Figura 56. Envoltant tèrmica CE3X (font: CE3X).

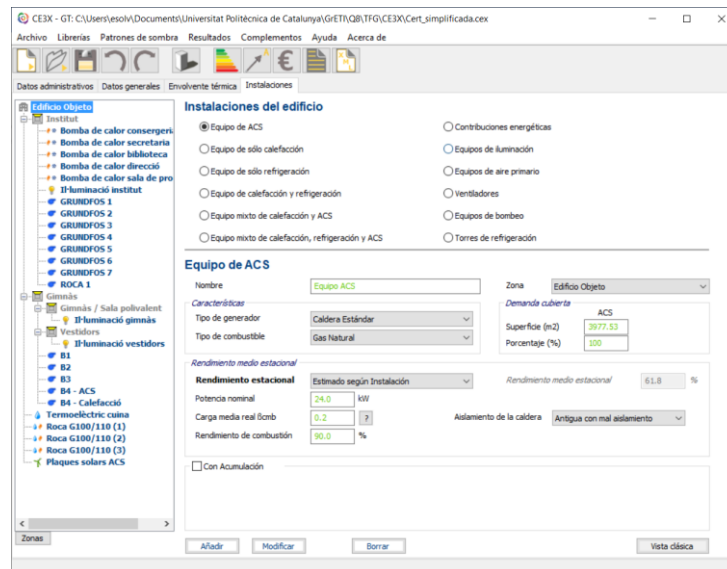


Figura 57. Instal·lacions CE3X (font: CE3X).

Finalment, amb totes les dades introduïdes, obtenim els resultats per aquesta primera certificació simplificada.

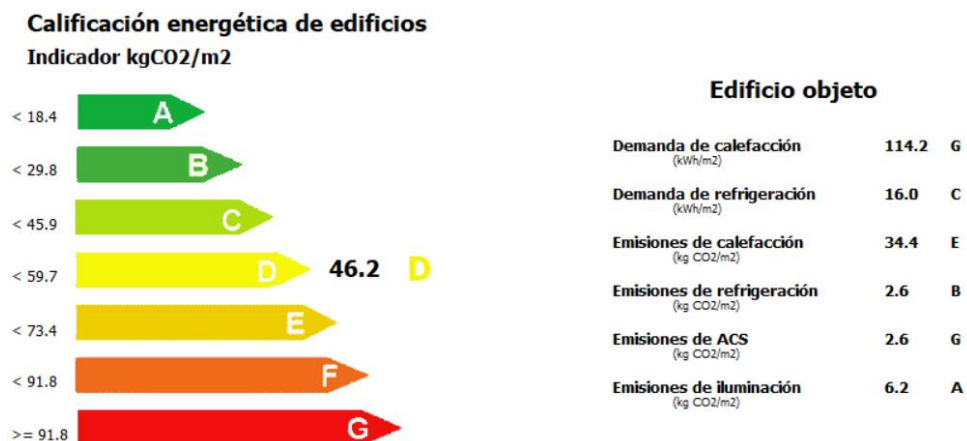


Figura 58. Resultats certificació simplificada (font: CE3X).

La qualificació energètica de l'institut en emissions és una D (46,2 kg CO₂/m²). A la imatge observem informació sobre la qualificació energètica segons el nivell de consum i les emissions per calefacció, refrigeració, ACS i il·luminació.

La calefacció suposa l'aspecte més negatiu de la qualificació, sobretot en consums. La demanda de calefacció és de 114,2 kWh/m² (G) i les emissions associades són de 34,4 kg CO₂/m² (E).

La refrigeració, en canvi, té una demanda de 16,0 kWh/m² (C) i unes emissions de 2,6 kg CO₂/m² (B). Aquests valors són més bons que els associats a la calefacció.

La instal·lació d'ACS té unes emissions associades de 2,6 kg CO₂/m² (G) i la instal·lació d'il·luminació 6,2 kg CO₂/m² (A).

4.2 Certificació exhaustiva

Partint de totes les dades introduïdes a la certificació simplificada, aquesta segona certificació té en compte les següents variants:

- S'utilitzen **noves mesures** que s'havien suposat o omès a la primera certificació. Aquestes han estat obtingudes per mesura directa en una visita a l'institut: alçades, mesures d'il·luminació, colors dels marcs de les finestres i dispositius de protecció solar.
- Es tenen en compte els **patrons d'ombres** que afecten a les diferents façanes.
- En els casos en què es disposa de la informació, s'actualitzen els elements de l'envolupant tèrmica dels quals es coneixen les **propietats tèrmiques**.
- S'afegiran els **pavès** de les escales que porten al segon pis, situats a la façana NO. També s'afegiran detalls sobre les **finestres** i les **portes** no considerades en la primera certificació.

4.2.1 Canvis aplicats

La informació detallada en aquesta secció complementa els diferents temes tractats a l'apartat 3.

4.2.1.1 Noves mesures

En primer lloc, amb l'ajuda d'un mesurador làser, he calculat l'alçada de diferents espais de l'institut. No he pogut mesurar cadascun dels espais per separat, de manera que els he agrupat en els següents grups:

Lloc	Altura [m]	Superfície útil habitable [m ²]	Altura ponderada [m]
Espais plantes -1 i 1	2,996	1.831,21	1,38
Passadís planta -1	3,159	250,47	0,20
Planta baixa	2,905	1.151,12	0,84
Passadís planta 1	3,023	231,79	0,18
Vestidors	2,550	104,10	0,07
Gimnàs	4,50 (plànols)	408,84	0,46

Taula 28. Altures mesurades (font pròpia).

No he obtingut mesures d'alguns espais com la sala d'actes o les escales. Tot i així, la nova altura serà més precisa que la considerada a la certificació simplificada (3,15 m). En aquesta nova certificació serà de 3,13 m. És un valor molt semblant a l'estimat anteriorment.

La il·luminació mitja horitzontal (en lux) utilitzada a la certificació simplificada era de 500 lux pels diferents espais de l'edifici principal i de 700 lux pel gimnàs i els vestidors. Aquests valors són els que proposa per defecte el CE3X.

Per a mesurar la il·luminació de la instal·lació s'ha de fer sense presència de llum natural. He realitzat una mesura d'il·luminació en una de les aules del segon pis mitjançant l'aplicació mòbil *Lux Light Meter Free*.



Figura 59. Aula amb els llums encesos i les finestres tancades (font pròpia).

La il·luminació mesurada ha estat de 155 lux. Amb llum exterior, aquest valor puja a 283 lux. Al vestíbul de direcció, un espai sense il·luminació natural, la mesura és de 106 lux. Així doncs, els valors obtinguts són molt menors que els estimats per defecte al CE3X. A la següent certificació consideraré una il·luminació de 150 lux a tots els espais de l'institut.

Els marcs de les finestres de l'institut són tots de color gris clar: segons el CE3X, l'absortivitat corresponent a aquest color és de 0,4.



Figura 60. Finestres façana SO (font pròpia).

He mesurat els “retranqueos” de les finestres IF01 i IF02 de les quatre façanes de l'edifici principal. És la distància entre la finestra i la paret exterior de la façana. Aquest és de 20 cm a les façanes SE, NE i NO, i de 33 cm a la façana SO.

A més a més, també definiré els voladissos per a introduir-los al programa.

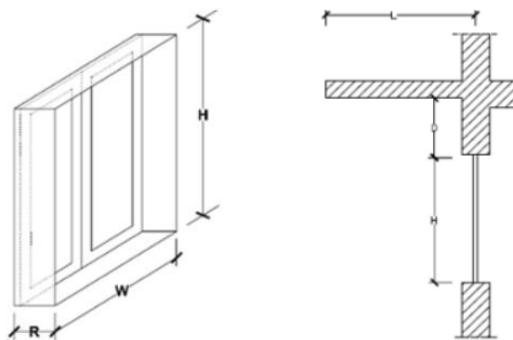


Figura 61. Esquema “retranqueo” (esquerra) i voladís (dreta) (font: CE3X).

A part de les finestres esmentades, considero com a “retranqueos” les portes d'emergència i el porxo de l'entrada principal. Com que una part del porxo surt a l'exterior de la façana, la consideraré com a voladís.

Lloc	Finestra	R [m]
Façana SE	IF01 – IF02	0,20
Façana SO	IF01	0,33
Façana NO	IF01	0,20
Façana NE	IF01	0,20
Porta entrada	IM01	3,70
Porta emergència pista	IPE01	1,60
Porta emergència escales	IPE01	0,30
Porta emergència darrere	IPE01	0,30

Taula 29. Definició “retranqueos” (font pròpia).



Figura 62. Porxo entrada (font pròpia).

La part del porxo que va de les portes a la façana exterior l'he considerat com a “retranqueo”. El voladís és la part que va de les portes a l'extrem del porxo.

A l'institut hi ha voladissos a les diferents façanes. Aquests tenen una longitud d'uns 20 a uns 40 cm. Tot i així, he decidit ometre'ls: estan força separats de les finestres, tenen poca longitud i molts d'ells no són horitzontals, cosa que dificulta la seva correcta introducció al programa.

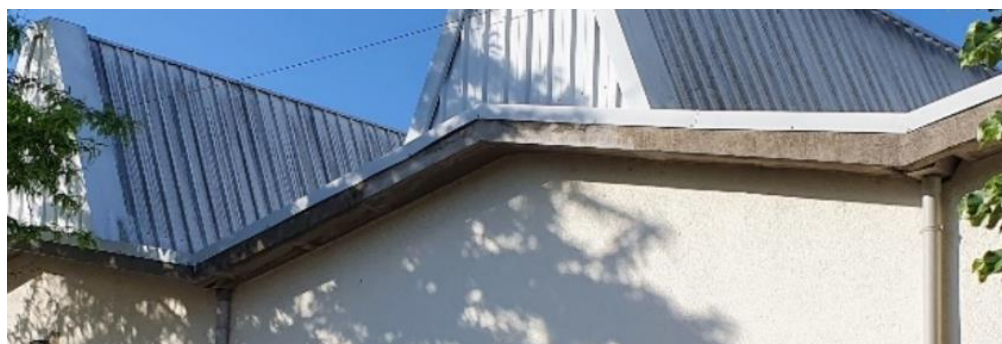


Figura 63. Detall voladís façana NE (font pròpia).

Definiré com a voladís la part del porxo de l'entrada no considerada anteriorment. El porxo de la façana NO i el porxo del gimnàs els consideraré a l'hora de calcular els patrons d'ombres.

Lloc	Finestra	L (m)	D (m)
Porxo entrada (façana SE)	IM01	7,20	0

Taula 30. Definició voladís (font pròpia).

4.2.1.2 Patrons d'ombres

El càlcul dels patrons d'ombres, degut a la seva extensió i varietat, he decidit afegir-lo com a annex del treball (Annex F).

4.2.1.3 Propietats tèrmiques

Les característiques tèrmiques dels tancaments les havia omès per a la certificació simplificada. En aquest apartat recullo tota aquella informació que he pogut aconseguir sobre els tancaments de l'edifici i que és útil per a la certificació. La informació de l'institut és més limitada que la del gimnàs, de recent construcció.

Tots els tancaments no definits en aquestes taules han estat considerats per defecte a causa de la manca d'informació sobre les seva composició o propietats tèrmiques.

Només he pogut definir les façanes del gimnàs, els vestidors i la cuina. Alguns gruixos (com els de les cambres d'aire o els arrebossats exteriors) no els he pogut deduir, per la qual cosa he introduït els gruixos per defecte que proporciona la llibreria de tancaments del CE3X. Per la cambra d'aire he introduït 10 cm a totes les parets (encara que no sigui un valor real, la transmitància tèrmica total serà molt més acurada que definint les parets per defecte).

El lateroyeso de 7 ^[26] està format per 5 cm de totxo ceràmic de doble cel·la i 1 cm de guix a cada banda.

També he definit les cobertes del gimnàs i els vestidors, en aquest cas de manera estimada. Ambdues estan aïllades amb 6 mm de poliestirè extruït (XPS). El forjat s'ha considerat unidireccional per defecte.

Les particions verticals dels patis interiors que estan formades completament per vidres tenen una transmitància tèrmica estimada de 3,3 W/(m²·K). Aquest valor és el valor de transmitància atribuït pel CE3X als vidres de les finestres de l'institut. Així doncs, aplicaré canvis a les següents particions: Pati 1 (1), pati 1 (2), pati 2 (1), pati 2 (2), pati 2 (4), pati 3 (1), pati 3 (2) i pati 3 (4).

Façana	Acabat exterior	Paret	Acabat interior
Vestidors SE	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Rajola ceràmica esmaltada de 20x20 cm. Colocat a trencajunts.
Gimnàs SE (1)	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Enguixat i pintat amb pintura plàstica llisa.
Gimnàs SE (2)	Façana coberta en la seva totalitat per la finestra GF05		
Vestidors SO	Façana coberta en la seva totalitat per la finestra GF06		
Gimnàs SO	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Enguixat i pintat amb pintura plàstica llisa.
Gimnàs NO	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i trasdossat de cartró-guix	Linoleum fins a 2,10 m i enguixat i pintat fins al sostre.
Vestidors O	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Desconegut (enguixat i pintat per defecte)
Vestidors NE	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Rajola ceràmica esmaltada de 20x20 cm. Colocat a trencajunts.
Gimnàs NE	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i trasdossat de cartró-guix.	Pintat amb pintura plàstica llisa.

Cuina NE (1)	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Rajola ceràmica esmaltada de 20x20 cm. Colocat a trencajunts.
Cuina SE (2)	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Rajola ceràmica esmaltada de 20x20 cm. Colocat a trencajunts.
Cuina NO (5)	Arrebossat i pintat	Paret composta de gero de 14, amb cambra d'aire, aïllament i lateroyeso de 7	Rajola ceràmica esmaltada de 20x20 cm. Colocat a trencajunts.

Taula 31. Descripció façanes (font pròpia).

4.2.1.4 Pavès, finestres i portes

A les escales que porten al segon pis hi ha dos conjunts de pavès o vidre emmotllat, no considerats a la certificació inicial. Aquests estarien situats a la façana NO (2).

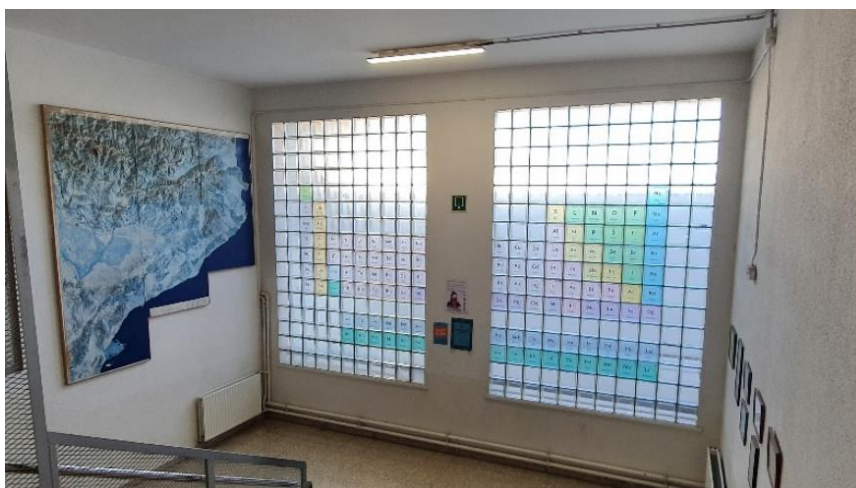


Figura 64. Pavès escales (font pròpia).

Així doncs els afegiré a la certificació com a dues noves finestres: els dos tenen una longitud total de 2,33 m i una alçada de 3,36 m. Els assigno una transmitància tèrmica de $3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i un factor solar de 0,76^[27]. Els considero vidres sense marc.

A banda dels “retranqueos” i voladissos considerats anteriorment, hi ha altres dades de les finestres que caldrà considerar.

Per començar, a la primera certificació les havia considerat com a finestres d'alumini sense RPT. Tot i així, revisant la memòria constructiva, he comprovat que són totes amb Ruptura de Pont Tèrmic.

També, per a tenir en compte els efectes de les ombres causades pels arbres del pati sobre les façanes, modificaré el corrector del factor solar. Els arbres són de fulla caduca, de manera que proporcionaran ombra durant l'estiu; però a l'hivern, amb les fulles caigudes, deixaran passar els rajos del sol. Així doncs, durant l'hivern el corrector del factor solar serà de 1, i durant l'estiu de 0,5^[28]. Això implicaria que a l'estiu només passaria el 50% de la radiació (aquest valor no ha estat calculat, només és orientatiu). Corregiré aquest factor en les finestres que tenen arbres que els fan ombra: aquelles de les façanes SE (1 i 2), SO (2 i 3), NO (2 i 4), NE (1, 2, 3 i 4), Gimnàs NE i Vestidors SO.

He estimat alguns detalls de la finestra GF06, en ser de U-glass. Li atribueixo una transmitància tèrmica de $3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ i un factor solar de 0,70^[29]. També considero que no té marc.

Finalment, hi ha algunes portes que, per no ser de vidre o no estar definides als plànols, vaig ometre a la primera certificació. Són les següents:

Nom	Descripció	L [m]	h [m]	Tancament associat	Núm.
IPE02	Porta cuina. Porta de xapa d'alumini lacat de 2 fulles practicables amb pany i una tarja superior opaca i fixa.	1,50	2,48	Façana NE (1)	1
IPE03	Porta cuina. Porta de xapa d'alumini lacat de 2 fulles practicables amb pany, i una tarja superior opaca i fixa.	0,90	2,48	Façana NE (1)	1
IPE04	Porta sala d'actes. Porta RF de 2 fulles centrals practicables amb pany i elements antipànic.	2,50	2,33	Façana SO (2)	2
GPE01	Porta vestidors. Porta metàl·lica lacada d'una fulla practicable amb pany.	1,00	2,20	Vestidors NE	3
GFPE01	Finestra associada a la porta GPE01.	1,00	0,40	Vestidors NE	3
GPE02	Portes vestidors. Portes metàl·liques lacades practicables amb pany, dins del mateix marc.	2,15	2,20	Vestidors NE	1
GPE03	Porta gimnàs. Porta metàl·lica lacada de 2 fulles centrals practicable amb pany, i element antipànic.	1,65	2,20	Gimnàs NE	1
PBATX	Porta no detallada als plànols.	0,90	2,40	Façana SE (1)	1
FBATX	Finestra no detallada als plànols.	1,50	2,40	Façana SE (1)	1
PROF	Porta no detallada als plànols.	1,00	2,40	Façana NO (4)	1

Taula 32. Portes no considerades a la certificació simplificada (font pròpia).

Als plànols no apareixen definides les portes d'una aula de Batxillerat i de la sala de professors (si que es veuen a les vistes de façana). Això és degut a que abans de la reforma de 2017 aquests espais formaven part de l'habitatge del conserge, i és molt probable que les dues portes siguin noves. He considerat que els marcs són metàl·lics amb RPT i els vidres, dobles. Les mesures són estimades.



Figura 65. Porta Batxillerat (esquerra) i sala de professors (dreta) no definides als plànols (font pròpia).

4.2.2 Resultats certificació

Els resultats de la certificació exhaustiva amb els canvis aplicats són els següents:



Figura 66. Resultats certificació exhaustiva (font: CE3X).

En aquesta nova certificació exhaustiva, la qualificació energètica de l'institut en emissions continua sent una D (45,3 kg CO₂/m²). A la imatge observem informació sobre la qualificació energètica segons el nivell de consum i les emissions per calefacció, refrigeració, ACS i il·luminació.

La demanda de calefacció és de 116,6 kWh/m² (F) i les emissions associades són de 35,1 kg CO₂/m² (D).

La refrigeració, en canvi, té una demanda de 6,2 kWh/m² (A) i unes emissions de 1,0 kg CO₂/m² (A). Aquests valors són excel·lents.

La instal·lació d'ACS té unes emissions associades de 1,4 kg CO₂/m² (G) i la instal·lació d'il·luminació 6,2 kg CO₂/m² (D).

4.2.2.1 Comparació entre les dues certificacions

Hi hagut canvis considerables entre els resultats d'aquesta certificació i la simplificada. Per a comparar-les, he recollit tota la informació en una taula:

Emissions [kg CO ₂ /m ²]	Certificació simplificada		Certificació exhaustiva	
	Resultat	Lletra	Resultat	Lletra
Global	46,0	D	43,9	D
Calefacció	34,2	E	35,1	D
Refrigeració	2,6	B	1,0	A
ACS	2,6	G	1,4	G
Il·luminació	6,2	A	6,2	D
Demanda [kWh/m ²]	Resultat	Lletra	Resultat	Lletra
Calefacció	114,2	G	116,6	F
Refrigeració	16,0	C	6,2	A

Figura 67. Comparació resultats certificacions (font pròpia).

En primer lloc, podem veure que les escales de les qualificacions entre les dues certificacions són lleugerament diferents (els valors límits que diferencien dues lletres). Per exemple, tot i que la demanda de calefacció és major a la segona certificació, aquesta té una millor lletra que la primera. Aquest canvi es podria deure a la modificació del valor de l'altura.

Els valors globals d'emissions són lleugerament inferiors a la segona certificació.

La calefacció ha augmentat lleugerament les emissions. Aquest canvi podria ser degut a la modificació dels tancaments o a la consideració de més obertures, fet que comporta un augment dels ponts tèrmics. La demanda també ha augmentat.

En canvi, amb la refrigeració passa el contrari. Obtenim una A tant a les emissions com a la demanda: aquí hi han influït directament els patrons d'ombres i els dispositius de protecció solar. A l'estiu, les ombres ens ajuden a refrigerar l'edifici. En canvi, a l'hivern impedeixen rebre la totalitat de la radiació solar, factor que també podria haver influït en l'augment dels valors de la calefacció.

No s'ha canviat cap element de la instal·lació d'ACS. Tot i així, en el segon cas les emissions han baixat. Atribueixo a un error del programa aquests resultats. La qualificació és una G en ambdós casos, cosa que podria ser deguda a l'origen de l'energia (les plaques solars no cobreixen un percentatge prou elevat per a suposar una diferència).

Les emissions d'il·luminació es mantenen igual. Tot i així, la lletra ha baixat dràsticament. Això és perquè hem considerat els valors d'il·luminació reals (al voltant de 150 lux) i no els suposats per defecte pel programa. Si volem millorar aquesta qualificació, s'hauria de canviar el sistema d'il·luminació tenint en compte el consum energètic i els lux proporcionats pels nous dispositius.

4.3 Comparació consums i certificació exhaustiva

En aquest apartat compararé els resultats de la certificació exhaustiva amb els consums extrets de les factures de l'institut.

En primer lloc, hem de diferenciar entre energia primària i energia secundària. L'energia primària és aquella que es troba a la font d'origen i que no ha patit cap procés de conversió o transformació. En canvi, l'energia secundària és aquella que utilitza l'usuari en el seu estat final. El CE3X ens proporciona els valors d'energia primària no renovable de calefacció, refrigeració, ACS i il·luminació (consultar Annex J). Podem comparar aquests valors amb els obtinguts a partir de les factures, que són valors d'energia secundària.

Per a fer-ho, necessitem els coeficients de pas d'energia final a primària no renovable. Encara que la comercialitzadora d'electricitat asseguri un origen de l'energia 100% renovable, el CE3X no ho té en compte per a la certificació. Així doncs, per a comparar el consum primari d'il·luminació utilitzaré els valors d'energia primària no renovable. A la següent taula recullo tots els coeficients de pas ^[30] que he utilitzat per a fer la conversió de primària a secundària.

	EP no renovable CE3X [kWh _p /(m ² ·any)]	Font	Coefficient de pas [kWh _p /kWh _s]	ES no renovable [kWh _s /(m ² ·any)]
Calefacció	166,85	Gas natural (93,35%)	1,190	134,47
		Electricitat (6,65%)	1,954	
Refrigeració	5,99	Electricitat	1,954	3,07
ACS	8,12	Electricitat (68%)	1,954	5,47
		Gas natural (13%)	1,190	
		Solar tèrmica (19%)	0	
Il·luminació	36,68	Electricitat	1,954	18,77

Taula 33. Conversió energia primària a energia secundària (font pròpia).

Ara s'han de comparar aquests valors amb els obtinguts a les factures. Tot i així, només tenim el consum total d'electricitat (64.719,84 kWh/any) i de gas (172.204 kWh/any). En primer lloc, dividim aquests valors per la superfície útil (3.977,53 m²). Obtenim que l'energia secundària segons les factures és de 16,27 kWh/(m²·any) per l'electricitat i 43,29 kWh/(m²·any) pel gas natural.

Com que tant el gas natural com l'electricitat formen part de diferents instal·lacions, i no en coneixem la distribució exacta, haurem d'utilitzar altres mètodes per a trobar el consum secundari per unitat de superfície i any.

4.3.1 Calefacció

La calefacció és proporcionada principalment per les calderes, tot i que també els equips d'aire condicionat proporcionen calor a alguns espais de l'edifici. A més a més, part del gas natural s'utilitza a la cuina i per ACS, de manera que no podem agafar directament els valors de les factures de gas. Per a trobar quina proporció s'utilitza per a calefacció utilitzarem els graus dia de calefacció (HDD).

Els graus dia de calefacció es defineixen com la suma per tots els dies de l'any de la diferència entre una temperatura base preestablerta i la temperatura mitjana diària en un lloc quan la temperatura mitjana és inferior a la temperatura exterior llindar a partir de la qual s'activa el sistema de calefacció. Tot i que la definició pot semblar força complicada, és més fàcil d'entendre si analitzem la fórmula a la que fa referència ^[31]:

$$HDD = \sum_1^n (T_{base} - T_{dia}) \text{ si } T_{dia} < T_{llindar}$$

On:

- T_{base} és la temperatura desitjada a l'interior de l'edifici proporcionada pel sistema de calefacció, en aquest cas 15 °C.
- T_{dia} és la temperatura mitjana de la zona, en aquest cas la temperatura mitjana diària registrada per l'estació meteorològica de Tàrraga.
- $T_{llindar}$ és la temperatura límit exterior. S'engega la calefacció quan la temperatura mitjana diària està per sota d'aquest valor. En aquest cas, també és 15 °C.

He recollit a l'Annex G en una taula totes les temperatures obtingudes de l'estació meteorològica de Tàrraga ^[32] i el càlcul dels HDD pel període que va de l'1 de gener al 31 de desembre de 2020.

Els graus dia de calefacció són un indicador que ens dona una idea de la necessitat de calefacció en una zona determinada.

El següent pas és comparar el consum mensual mig de calefacció amb el nombre total de HDD per cada mes. Encara que els HDD hagin estat calculats a partir de valors d'un sol any (2020) i els consums mensuals hagin estat obtinguts a partir de mitjanes de diferents anys, no hi haurà cap problema. Els graus dia els volem per a tenir una orientació de com es distribueix el consum de calefacció al llarg de l'any i diferenciar-lo del consum d'ACS i gas, considerats constants.

Mes	Consum [kWh]	HDD [°C]
Gener	57.175	326,6
Febrer	32.666	164
Març	27.369	162,3
Abril	13.280	55,8
Maig	1.049	4,8
Juny	0	0,9
Juliol	0	0
Agost	376	0
Setembre	253	3,5
Octubre	746	65,4
Novembre	21.234,50	132,2
Desembre	18.055	296,4
TOTAL	172.204	1.211,9

Taula 34. Consum mensual i HDD (font pròpia).

Per a entendre aquestes dades les visualitzem en un gràfic. Veiem que la relació entre els graus dia de calefacció i el consum de gas és força similar, tret dels mesos d'octubre i desembre, on hi ha diferències destacables.

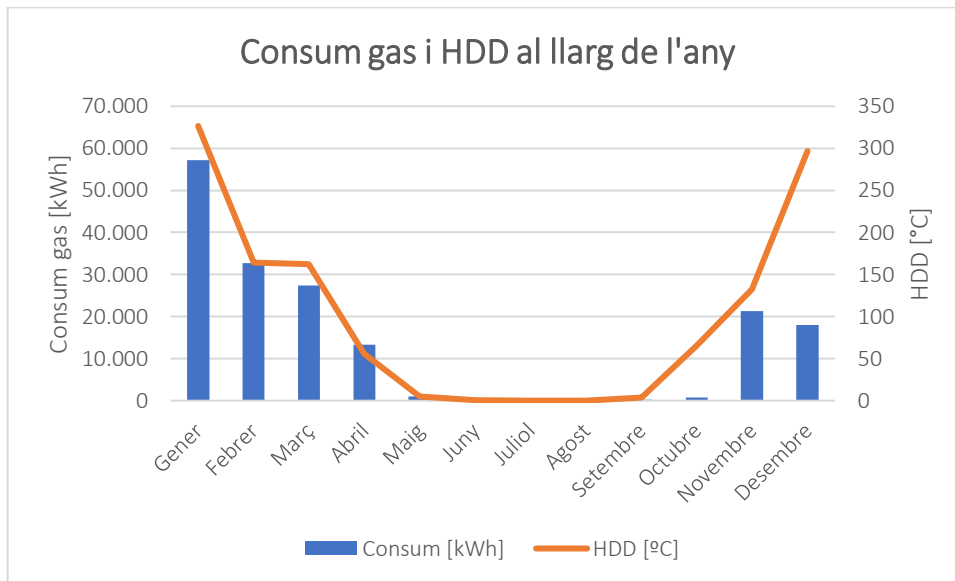


Figura 68. Consum gas i HDD al llarg de l'any (font pròpia).

Si analitzem la relació entre les dades en un gràfic de dispersió obtenim un coeficient de determinació força baix (0,7485). Això és degut principalment als valors de l'octubre i el desembre.

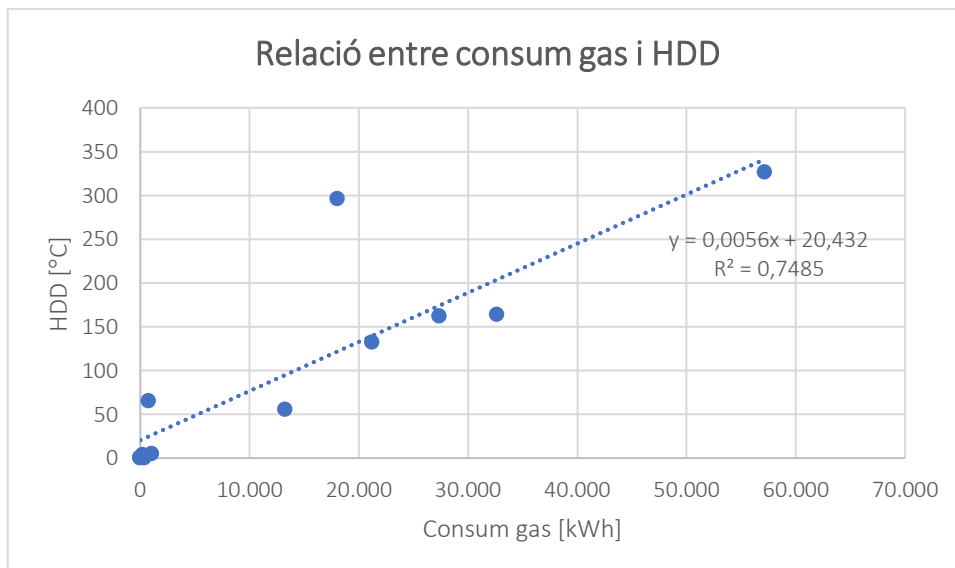


Figura 69. Recta de regressió consum gas i HDD (font pròpia).

Hi ha molts factors que influeixen en la relació entre HDD i consums: la temperatura base, l'any escollit pels HDD, els valors de les factures, els mesos en què l'institut obre la calefacció, els dies d'ocupació, els hàbits de consum... En aquest cas, per exemple, podríem deduir que el desembre és un mes amb molts dies festius, fet que es nota al consum de calefacció. Pel que fa a l'octubre, podria ser que no s'engegués la calefacció fins el novembre.

L'objectiu de trobar els HDD, però, era per a diferenciar el gas segons si estava destinat a calefacció, a l'ACS (molt poc, només el 40% de la demanda dels vestidors) o per a cuinar. Veiem clarament que de maig a octubre el consum de calefacció és nul. Com que de juny a setembre l'ocupació de l'institut és parcialment completa o nul·la, ens centrarem en el consum de calefacció de maig i octubre (1.049

kWh i 746 kWh), quan ens trobem en ple funcionament. Agafem un valor mig, uns 900 kWh, que serà el consum de gas destinat a ACS i cuina.

El consum d'ACS podria ser major durant els mesos més freds, però el suposarem constant per a simplificar els càlculs. Així doncs, els mesos en què la calefacció està activa (de novembre a abril), haurem de restar 900 kWh mensuals i obtindrem el consum anual estimat de calefacció per gas natural: 164.380 kWh/any.

Tot i així, encara ens faltaria afegir el consum de calefacció dels equips d'aire condicionat, dels quals no conec la potència. Com que hi ha un gran nombre de dispositius i instal·lacions al centre, tampoc en puc deduir els consums mirant els valors mensuals de les factures. Així doncs, hauré d'ometre l'estimació de l'aire condicionat, tant per calor com per refrigeració.

El consum per unitat de superfície i any de gas per calefacció és de 41,33 kWh/(m²·any). El valor de calefacció obtingut a partir del CE3X seria:

$$C_{S,CE3X,gn_cal} = \frac{0,9335 \cdot 166,85}{1,190} = 130,89 \frac{kWh}{m^2 \cdot any}$$

Aquest valor s'allunya bastant de l'obtingut de les factures. En certa manera és normal, ja que el CE3X no té en compte ni els patrons d'ocupació ni els patrons d'ús de l'institut. Hi ha un gran nombre de dies que l'institut està tancat, i tal i com hem vist al gràfic, obren la calefacció el novembre (no l'octubre).

4.3.2 Refrigeració

Tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior, no podem calcular correctament el consum secundari de refrigeració a partir dels consums.

4.3.3 ACS

L'ACS s'obté de tres fonts diferents: electricitat, plaques solars i ACS.

En primer lloc, tenim el termoelèctric de 100 L que escalfa l'aigua de la cuina i la cafeteria. A l'annex E, al subquadre de la cuina, es pot comprovar que la potència d'aquest aparell és de 1.000 W. Considerem que el termoelèctric està en funcionament dues hores diàries [33]. Llavors, tenint en compte els patrons d'ocupació de l'institut, obtenim un consum anual de 555,56 kWh. Aquest valor correspon a 0,14 kWh/(m²·any).

Després tenim el consum de les plaques solars i l'ACS de les dutxes, més difícil de quantificar. Abans hem determinat que d'octubre a maig el consum d'ACS i gas per cuinar és d'uns 900 kWh mensuals. Suposant que el juny i el setembre compten com a un sol mes, tenim 8.100 kWh anuals destinats a ACS i cuina, és a dir, 2,04 kWh/(m²·any). Tot i així, no tenim prou dades per a separar aquests dos valors.

Del CE3X hem obtingut que l'energia secundària destinada a ACS és de 5,47 kWh/(m²·any). L'ACS obtinguda per plaques solars prové d'una font d'energia renovable, de manera que no serà necessari tenir-la en compte als càlculs. Per tant, veiem que sumant els consums d'ACS obtinguts per electricitat i gas natural (no sabem el valor exacte), ens trobem per sota del valor calculat a partir del CE3X.

Tot i així, l'ordre de magnitud és similar. Tal i com hem comentat en el cas de la calefacció, el CE3X no té en compte tota aquella informació que depèn de l'usuari.

4.3.4 Il·luminació

La potència total de la il·luminació interior és de 29,82 kW. Com que les factures d'electricitat no ens mostren quin percentatge de l'energia es destina a la il·luminació, haurem de fer una estimació de les hores d'ús per a trobar l'energia secundària total. Seguim les següents hipòtesis:

- El juliol i l'agost l'institut està tancat.
- L'ocupació d'un mes normal s'ha establert en el 66,67%, ja que l'escola en un mes tipus de 30 dies només en funciona 20.
- La il·luminació interior mai està oberta tota al mateix temps, es suposa un coeficient de simultaneïtat del 60%.
- L'ocupació és de 8 hores diàries.

I el càlcul del consum d'il·luminació és el següent:

$$C_{il.luminació} = 29,82 \cdot 8 \cdot 365 \cdot \frac{10}{12} \cdot \frac{20}{30} \cdot 0,60 = 29.024,80 \text{ kWh/any}$$

Si dividim aquest valor per la superfície, obtenim el valor de 7,30 kWh/(m²·any). Aquest valor es diferencia bastant del CE3X, però això és degut a que aquest no té en compte que l'institut no està obert durant tot l'any. Si eliminem el coeficient de simultaneïtat i suposem que hi ha activitat els 365 dies de l'any, obtenim un valor de 21,89 kWh/(m²·any), molt més proper al que hem estimat a partir del coeficient de pas (18,77 kWh/(m²·any)).

5 Mesures de millora

Per tal de millorar la qualificació energètica de l'institut i obtenir un estalvi energètic i econòmic, estudiaré les propostes detallades en aquest apartat. Per cada mesura obtindrè els nous resultats modelitzats a CE3X i realitzaré un anàlisi tècnic i econòmic. Les mesures de millora poden ser de tres tipus diferents: primàries, secundàries o terciàries.

Les mesures primàries són aquelles destinades a disminuir la demanda energètica de l'edifici. És a dir, són aquelles que es centren en millorar l'envolupant tèrmica. Les mesures primàries que proposo són les següents:

- Cobrir les façanes per l'exterior amb SATE.

Les mesures secundàries estan orientades a reduir el consum, és a dir, a millorar l'eficiència energètica de les instal·lacions. Les mesures secundàries proposades són:

- Substituir les calderes de gas per una caldera de biomassa.
- Substituir les calderes de gas per una caldera de condensació.
- Substituir la il·luminació actual amb tecnologia LED.
- Realitzar una instal·lació de plaques solars fotovoltaïques per autoconsum.

I, finalment, les mesures terciàries són aquelles destinades a l'ús i al control de l'energia. Les mesures proposades són:

- Canviar la potència contractada.
- Millorar els hàbits de consum.

Al llarg d'aquest apartat utilitzaré diferents equacions que, per a evitar estendre en excés la memòria, he agrupat en un annex (Annex H). Estan numerades, de manera que quan s'hi faci referència en aquest apartat s'utilitzarà el número que tenen assignat.

5.1 Cobrir les façanes amb SATE

El SATE (Sistema d'Aïllament Tèrmic per l'Exterior) és, com bé indica el seu nom, un sistema d'aïllament tèrmic i acústic per a aïllar les façanes d'un edifici per l'exterior. El SATE és de les millors solucions respecte a l'aïllament, ja que col·locar-lo per l'exterior implica eliminar tots els ponts tèrmics de les façanes, que en el cas de l'institut són molts.



Figura 70. Edifici abans i després de l'aplicació del SATE ^[34].

El SATE té grans avantatges, especialment en edificis construïts abans de la NBE-CT-79: estalvi energètic, millora del confort tèrmic, reducció de les emissions, instal·lació relativament fàcil, reducció dels ponts tèrmics, millora del comportament acústic i eliminació de condensacions ^[34].

La proposta consisteix en cobrir amb SATE totes les façanes de l'institut.

5.1.1 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

La solució de SATE més coneguda i utilitzada al mercat són els panells de poliestirè expandit (EPS) [35]. L'aïllament d'EPS serà de 6 cm de gruix [36].

El SATE s'aplica en forma de plafons d'aïllament prefabricats adherits al mur. Normalment es fixen amb adhesiu i fixació mecànica.

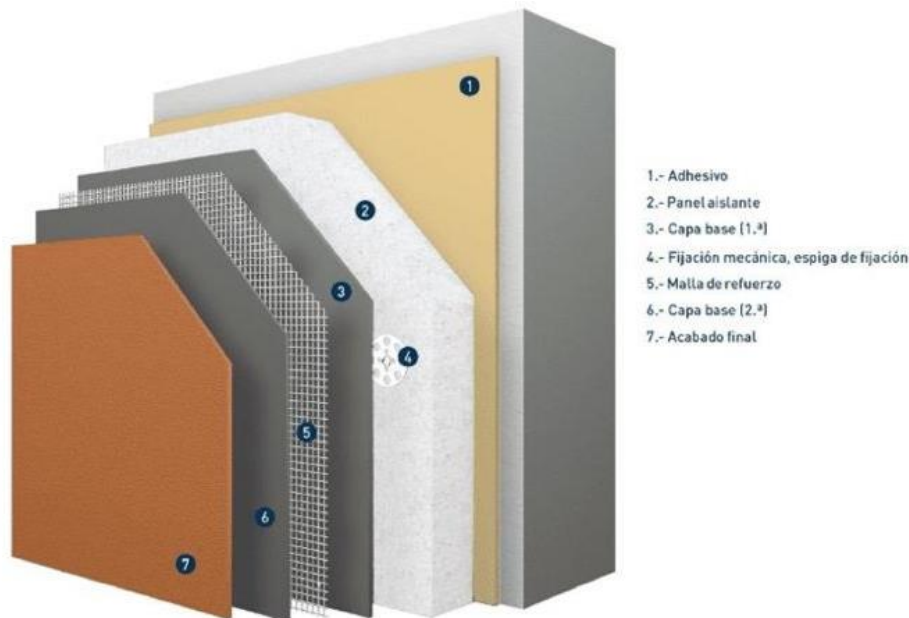


Figura 71. Esquema SATE [37].

En primer lloc, s'aplica un morter de fixació (1) que serveix per a adherir els plafons d'EPS (2) a la façana. Després s'apliquen dues capes base de morter (3 i 6), aplicades segons la figura anterior. També s'afegeixen espigues de fixació (4) per a fixar mecànicament l'aïllant i una malla de fibra de vidre de reforç (5). Finalment s'aplica l'acabat (7) sobre la segona capa base, que tindrà la funció de protegir el sistema de l'exterior i també una funció estètica (existeixen diferents colors i textures). És important elegir correctament el color ja que aquest afectarà al valor del coeficient d'absorció de radiació solar [37].

He simulat el cost total de la instal·lació amb els preus de l'Institut Valencià de l'Edificació [38]. El sistema escollit és un SATE amb una resistència tèrmica de 1,67 (m²·K)/W compost per aïllament tèrmic a base de panells rígids d'EPS amb una conductivitat tèrmica de 0,036 W/(m·K), una espessor de 60 mm, una reacció al foc Euroclasse E, amb marcat CE i segons la UNE-EN 13163 i UNE-EN 13499.

Els panells estan fixats al suport mitjançant morter de ciment amb resines i additius, i espigues d'ancoratge mecànic disposades al perímetre, vèrtexs i centre dels panells. La capa de reforç i base de l'acabat està formada per una malla de fibra de vidre convencional. Aquesta es troba al centre d'una capa de 5 cm d'espessor de morter industrial M-10. La capa d'acabat impermeable a l'aigua de pluja està formada per una arrebossat mineral d'1 mm d'espessor amb acabat llis realitzat amb morter. Tot inclou la part proporcional dels accessoris necessaris per a la completa instal·lació del sistema.

El pressupost d'aplicació de panells SATE l'obtindrem a partir del cost per metre quadrat. La superfície total de les façanes, incloent les obertures, és de 1.923,93 m². Si eliminem l'àrea de les obertures (657,91 m²), la superfície es redueix a 1.266,02 m².

Descripció	Quantitat	Unitat	Cost unitari [€/unitat]	Cost final [€/m ²]
Oficial primera de construcció	1,080	h	22,68	24,49
Peó ordinari construcció	0,540	h	18,85	10,18
Panell SATE EPS 0,036 W/(m·K) 60mm	1,050	kg	9,42	9,89
Morter fixació	6,300	kg	1,20	7,56
Espiga fixació mecànica	8,000	u.	0,08	0,64
Malla fixació convencional	1,100	m ²	1,20	1,32
Morter de ciment M-10	0,053	m ³	81,19	4,26
Imprimació d'adherència	0,333	l	6,00	2,00
Revestiment mineral	2,000	kg	1,50	3,00
Costos directes complementaris	2,000	%	63,38	1,27
Cost per metre quadrat [€/m ²]				64,65
Superfície [m ²]				1.266,02
Cost total [€]				81.848,19

Taula 35. Càlcul cost total SATE (font pròpia).

5.1.2 Canvi en les emissions i estalvi energètic

Una vegada definida, modelitzem la mesura al CE3X. S'han obtingut els següents resultats:

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro	
Demanda de calefacció	87.9 D	116.6 F	24.6 %	A
Demanda de refrigeració	8.2 A	6.2 A	-32.9 %	B
Emisiones de calefacció	26.5 C	35.1 D	24.6 %	C
Emisiones de refrigeració	1.3 A	1.0 A	-32.9 %	D
Emisiones de ACS	2.6 G	2.6 G	0.0 %	E
Emisiones de il·luminació	6.2 D	6.2 D	0.0 %	F
EMISIONES GLOBALES	37.0 C	45.3 D	18.4 %	G

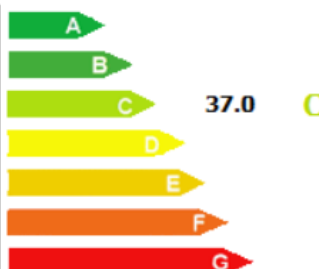


Figura 72. Resultats CE3X instal·lació SATE (font: CE3X).

Veiem un canvi significatiu a la qualificació global, que passa d'una D a una C. Les emissions globals es redueixen en un 18,4%. El canvi més significatiu es troba en la demanda i les emissions de calefacció, que es redueixen en un 24,6%. La primera passa d'una F a una D, mentre que la segona passa d'una D a una C.

Tot i així, veiem que aplicar el SATE implica un lleuger augment de la demanda i les emissions de refrigeració. De totes maneres, les dues continuen tenint una A.

A la *Taula 36* es poden observar amb més detall els canvis que produeix aquesta millora en el comportament energètic de l'edifici. Utilitzo aquests valors per a calcular la reducció de les emissions i l'estalvi energètic.

Les emissions globals passen d'una D a una C (reducció del 18,4%). S'estalvia emetre a l'atmosfera 33.013,50 kg CO₂ cada any. El consum es redueix un 24,6% en calefacció i augmenta un 32,9% en refrigeració: això suposa un estalvi energètic total del 19,5%, és a dir, de 131.497,14 kWh cada any.

Indicador	Calefacció		Refrigeració		ACS		Il·luminació		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	103.97	24.6%	4.08	-32.9%	8.66	0.0%	18.77	0.0%	136.48	19.5%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	126.21	D 24.6%	7.96	A -32.9%	14.48	G 0.0%	36.68	D 0.0%	187.28	D 17.3%
Emisiones de CO ₂ [kgCO ₂ /m ² año]	26.46	C 24.6%	1.35	A -32.9%	2.61	G 0.0%	6.21	D 0.0%	36.96	C 18.4%
Demanda [kWh/m ² año]	87.91	D 24.6%	8.18	A -32.9%						

Taula 36. Detall resultats instal·lació SATE (font: CE3X).

5.1.3 Anàlisi econòmic

Finalment queda fer l'anàlisi econòmic. Necessitarem saber l'estalvi econòmic anual per a calcular el període d'amortització de la inversió.

Aquesta mesura afecta els consums de calefacció i refrigeració, que s'obtenen per gas natural i electricitat. Dividirem el consum de calefacció amb els percentatges que hem considerat al CE3X: 93,35% gas natural i 6,65% electricitat.

El preu del gas serà considerat de 0,002339 €/kWh (valor obtingut de les factures). Estudiant les factures d'electricitat s'ha suposat un preu mig de 0,08 €/kWh per a simplificar els càlculs. En conseqüència, si l'estalvi de calefacció és de 134.917,82 kWh/any i l'augment del consum de refrigeració és de 3.420,68 kWh/any:

$$\begin{aligned}
 Est. \text{ econ.} &= 134.917,82 \cdot (0,9335 \cdot 0,002339 + 0,0665 \cdot 0,08) - 3.420,68 \cdot 0,08 \\
 &= 738,70 \text{ €/any}
 \end{aligned}$$

Amb aquest valor obtenim que el període d'amortització (4) és de 110,8 anys.

En aquest cas, aquests valors s'han calculat a partir de l'estalvi absolut donat pel CE3X. Tot i així, en el càlcul de l'estalvi de les calderes de biomassa i condensació ho farem a partir del percentatge donat pel programa, i després serà aplicat sobre el consum de gas obtingut de les factures. En el cas del SATE no s'ha fet així ja que desconeixem el consum real dels equips d'aire condicionat.

5.2 Instal·lar una caldera de biomassa

Una caldera de biomassa utilitza combustibles naturals, com ara pellets de fusta, ossos d'olives, residus forestals... per a generar calefacció i ACS. Es considera que la biomassa té un balanç neutre en emissions de CO₂: el carboni que emet durant la seva combustió és el que han absorbit els arbres o plantes d'on ha sortit el combustible durant la seva vida.

La mesura consisteix en substituir les tres calderes de gas natural existents per una única caldera de biomassa.

5.2.1 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

Les tres calderes actuals de 126 kW treballen simultàniament per a proveir de calefacció i ACS l'institut (la potència total és de 378 kW). Necessitarem instal·lar una caldera de biomassa d'una potència similar i un dipòsit pel combustible, en aquest cas pellets.

A diferència del gas, els pellets s'han d'anar reomplint manualment, per la qual cosa serà necessari disposar d'un dipòsit com més gran millor. Per a calcular la quantitat de pellets que necessitem

utilitzarem com a base el consum estimat de gas natural a partir de les factures. El poder calorífic del pellet és de 4,8 kWh/kg^[39].

$$m_{\text{pellets}} = 172.204 \text{ kWh} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{4,8 \text{ kWh}} = 35.876 \text{ kg}$$

És a dir, necessitem 35.876 kg de pellets cada any per a satisfer la demanda de calefacció. Aquesta quantitat tant elevada de pellets fa necessari que situem el dipòsit fora de la sala de calderes: té unes dimensions aproximades de 6 m de longitud i 2,8 m d'amplada. A partir de les fotos es pot deduir que l'alçada és d'almenys 3 m.



Figura 73. Fotografies sala de calderes (font pròpia).

Un bon lloc per a ubicar el dipòsit de pellets és al pati exterior, per on surt el conducte d'expulsió de gasos de la caldera.



Figura 74. Possible ubicació dipòsit de pellets (font pròpia).

Sabem que la densitat dels pellets és de 650 kg/m³^[40]. Una tremuja per a emmagatzemar tots els pellets necessaris per un any necessitaria uns 55 m³ de capacitat. Naturalment, aquest volum és massa gran. Un camió hauria d'omplir periòdicament la tremuja unes 3 o 4 vegades a l'any.

Així doncs, he buscat una caldera de biomassa d'una potència similar a l'actual (378 W) i una tremuja amb una capacitat raonable. He simulat els costos de la instal·lació al generador online de preus de la construcció de *CYPE Ingenieros*^[41].

La caldera^[42] treballa amb pellets i té una potència nominal de 104 a 399 kW. El rendiment és del 93,4%^[43]. Les mesures són 2175x2655x2260 mm, de manera que es podria instal·lar a la sala de calderes. Té aïllament interior, sistemes de neteja automàtica, sistemes de recollida i extracció de

cenres, dos dipòsits de cenres extraïbles, control de combustió amb sonda integrada i sistema de comandament integrat amb pantalla tàctil. Tots els elements que componen la caldera es poden observar amb més detall al desglossament dels preus.

Pel que fa al dipòsit ^[44], es proposa una tremuja amb una capacitat màxima de 9 tones, de manera que s'hauria d'omplir unes quatre vegades l'any. És un dipòsit de superfície, de teixit sintètic i amb estructura i tremuja d'acer. La base és de 2,90x2,90 m i l'altura és regulable (de 1,90 m a 2,50 m).

Descripció	Quantitat	Unitat	Cost unitari [€/unitat]	Cost final [€]
Caldera biomassa	1,000	u	62.984,03	62.984,03
Motor inducció trifàsic 400 V per emmagatzematge intermedi de caldera Firematic	1,000	u	1.574,63	1.574,63
Base antivibracions	1,000	u	140,40	140,40
Limitador tèrmic de seguretat	1,000	u	79,95	79,95
Sistema elevació temperatura de retorn	1,000	u	4.632,23	4.632,23
Sistema extracció de cenres	1,000	u	4.893,53	4.893,53
Calaix de cenres 240 litres	1,000	u	944,78	944,78
Connexió antivibració conducte de fums	1,000	u	313,95	313,95
Regulador de tir	1,000	u	341,25	341,25
Muntatge sistema extracció de cenres	1,000	u	151,13	151,13
Supervisió i direcció	1,000	u	2.437,50	2.437,50
Posada en marxa i formació personal	1,000	u	945,75	945,75
Oficial 1a calefactor	6,933	h	19,56	117,36
Ajudant calefactor	6,933	h	18,01	108,06
Costos directes complementaris caldera	2,000	%	79.664,45	1.593,29
Subtotal caldera [€]				81.257,84
Sitja	1,000	u	3.948,75	3.948,75
Oficial 1a electricista	4,000	h	19,56	78,24
Ajudant electricista	4,000	h	18,01	72,04
Costos directes complementaris sitja	2,000	%	4.099,03	81,98
Subtotal sitja [€]				4.181,01
Cost total [€]				85.438,85

Taula 37. Càlcul cost total caldera biomassa (font pròpia).

5.2.2 Canvi en les emissions i estalvi energètic

Una vegada definida, modelitzem la mesura al CE3X. S'han obtingut els següents resultats:

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro	
Demanda de calefacción	116.6 F	116.6 F	0.0 %	A 13.1 A
Demanda de refrigeración	6.2 A	6.2 A	0.0 %	B
Emisiones de calefacción	4.0 A	35.1 D	88.7 %	C
Emisiones de refrigeración	1.0 A	1.0 A	0.0 %	D
Emisiones de ACS	1.6 E	2.6 G	39.5 %	E
Emisiones de iluminación	6.2 D	6.2 D	0.0 %	F
EMISIONES GLOBALES	13.1 A	45.3 D	71.0 %	G

Figura 75. Resultats CE3X instal·lació biomassa (font: CE3X).

Obtenim una millora abismal dels resultats en emissions. Les emissions globals es redueixen un 71,0%, passant d'una D a una A. Instal·lar una caldera de biomassa afecta directament les emissions de calefacció i ACS: les primeres es redueixen un 88,7%, mentre que les d'ACS un 39,5%.

Si analitzem la següent taula, el CE3X ens dona un estalvi energètic global molt més petit, de tan sols el 4,4%. Si analitzem només la calefacció i l'ACS, que són els que utilitzen gas natural:

$$\text{Consum original calef.} = 132,01 \cdot \frac{100}{100 - 4,3} = 137,94 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{any}}$$

$$\text{Consum original ACS} = 7,18 \cdot \frac{100}{100 - 17,1} = 8,66 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{any}}$$

Segons els percentatges considerats al CE3X, un 93,35% del consum de calefacció i un 13% del consum d'ACS és amb gas. Així doncs, d'aquests 137,94 kWh/(m²·any) un 93,35% és proporcionat a partir de gas natural, és a dir, 128,77 kWh/(m²·any). Pel que fa a l'ACS, es proporcionen 1,13 kWh/(m²·any).

Per tant, segons el CE3X el gas natural ens dona 129,90 kWh/(m²·any), que són 516.681,15 kWh/any com a energia final. Aquest valor es força diferent als 172.204 kWh/any calculats a partir de les factures. Això és degut a que el CE3X no té en compte el comportament de l'usuari: per exemple, una gran part dels dies de l'any l'institut està tancat i amb la calefacció apagada, cosa que el programa no considera.

Basaré el càlcul de l'estalvi en aquest valor de 172.204 kWh/any i li aplicaré un percentatge d'estalvi, obtingut a partir del CE3X. Amb la millora aplicada es redueixen un total de 7,41 kWh/(m²·any). Això implica un estalvi del 5,70% en consum de gas natural. Així doncs, l'estalvi energètic és de 9.815,63 kWh/any. Aquest estalvi es produeix per l'aïllament i el rendiment de la nova caldera. Tot i així, si volem un major estalvi serà necessari invertir en millorar l'envolupant tèrmica.

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	132.01	4.3%	3.07	0.0%	7.18	17.1%	18.77	0.0%	162.03	4.4%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	20.50	A 87.8%	5.99	A 0.0%	9.28	E 35.9%	36.68	D 0.0%	74.41	B 67.2%
Emisiones de CO2 [kgCO2/m ² año]	3.98	A 88.7%	1.02	A 0.0%	1.58	E 39.5%	6.21	D 0.0%	13.12	A 71.0%
Demanda [kWh/m ² año]	116.63	F 0.0%	6.15	A 0.0%						

Taula 38. Detall resultats instal·lació biomassa (font: CE3X).

5.2.3 Anàlisi econòmic

L'estalvi energètic és de 9.815,63 kWh/any. A més a més, canviem de combustible: hem de saber el preu dels pellets. Aquests serien subministrats per un camió cisterna i a granel. El tercer trimestre de l'any 2020 el preu dels pellets subministrats a granel i amb cisterna era de 0,0498 €/kWh^[45].

A partir de les factures hem deduït que el cost anual de gas és de 10.397,21 €/any. Amb un estalvi de 9.815,63 kWh/any, el nou valor d'energia final amb biomassa serà de 162.388,37 kWh/any. Ometent els costos de manteniment (considerats els mateixos que en el cas de les calderes de gas), l'estalvi econòmic anual és de:

$$\text{Est. econ.} = 10.397,21 - 162.388,37 \cdot 0,0498 = 2.310,27 \text{ €/any}$$

Amb aquest valor obtenim que el període d'amortització (4) és de 36,98 anys.

5.3 Instal·lar calderes de condensació

Les calderes de condensació són un tipus de calderes de gas d'alt rendiment basades en l'aprofitament del calor latent de condensació present als fums de la combustió.

En una caldera estàndard els fums surten a una temperatura molt elevada (fins a uns 120 °C). Una caldera de condensació aprofita una gran part d'aquesta calor latent i redueix la temperatura dels gasos fins a uns 45 °C (o menys), limitant així l'emissió de gasos contaminants. A més a més, s'incrementa el rendiment i s'estalvia energia ^[46].

5.3.1 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

Mantindrem el mateix subministrament de gas, així que només serà necessari canviar les tres calderes actuals per un conjunt de calderes d'una potència útil similar (378 W).

Es proposen dues calderes de condensació de gas natural connectades en cascada, amb cos de fosa d'alumini i silici i cremador d'acer inoxidable. El model és l'ecoCRAFT exclusiv VKK 2006/3-E HL R1 de la marca VAILLANT. La potència útil total és de 400 kW (200 kW per caldera). Cada caldera té unes dimensions de 1285x695x1550 mm, amb diferents sistemes i accessoris, que poden consultar-se amb major detall en el següent pressupost ^[47]. El rendiment nominal es considera del 101,75%, valor obtingut de la mitjana dels rendiments nominals de la caldera a diferents temperatures ^[48].

Descripció	Quantitat	Unitat	Cost unitari [€/unitat]	Cost final [€]
Caldera ecoCRAFT exclusiv VKK 2006/3-E HL R1 VAILLANT	2,000	u	12.010,00	24.020,00
Bomba de circulació modulant d'alta eficiència	2,000	u	1.450,00	2.900,00
Grup de seguretat	2,000	u	210,00	420,00
Equip de neutralització de condensats	2,000	u	390,00	780,00
Sistema de control	1,000	u	280,00	280,00
Mòdul per al control de calderes addicionals	1,000	u	100,00	100,00
Mòdul per al control de circuits addicionals	1,000	u	235,00	235,00
Desguàs a bonera	1,000	u	15,00	15,00
Posada en marxa del cremador per a gas	1,000	u	150,00	150,00
Material auxiliar per a instal·lacions de calefacció	1,000	u	1,68	1,68
Material auxiliar per a instal·lacions de lampisteria	1,000	u	1,40	1,40
Oficial 1a calefactor	5,084	h	25,32	128,73
Ajudant calefactor	5,084	h	21,74	110,53
Costos directes complementaris	2,000	%	29.142,34	582,85
Cost total [€]				29.725,19

Taula 39. Càlcul cost total calderes condensació (font pròpia).

5.3.2 Canvi en les emissions i estalvi energètic

Una vegada definida, modelitzem la mesura al CE3X. S'han obtingut els següents resultats:

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro	
Demanda de calefacción	116.6 F	116.6 F	0.0 %	A
Demanda de refrigeración	6.2 A	6.2 A	0.0 %	B
Emissiones de calefacción	29.8 C	35.1 D	15.0 %	C
Emissiones de refrigeración	1.0 A	1.0 A	0.0 %	D
Emissiones de ACS	2.3 F	2.6 G	12.7 %	E
Emissiones de iluminación	6.2 D	6.2 D	0.0 %	F
EMISIONES GLOBALES	39.7 C	45.3 D	12.4 %	G

Figura 76. Resultats CE3X instal·lació condensació (font: CE3X).

Obtenim un canvi important en les emissions globals, passant d'una D a una C, amb una reducció del 12,4% de les emissions. Les emissions de calefacció i ACS es redueixen un 15,0% i un 12,7% respectivament.

De la mateixa manera que en la caldera de biomassa, calculem l'estalvi energètic a partir del percentatge d'estalvi obtingut del CE3X i del consum anual de gas segons les factures. Amb la millora aplicada es redueixen un total de 22,10 kWh/(m²·any) en consum final de gas. Això implica un estalvi del 15,08% que, aplicat sobre el consum anual de les factures, ens dona un estalvi de 25.968,36 kWh/any.

Indicador	Calefacción		Refrigeración		ACS		Iluminación		Total	
	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original	Valor	ahorro respecto a la situación original
Consumo Energía final [kWh/m ² año]	117.02	15.2%	3.07	0.0%	7.48	13.7%	18.77	0.0%	147.34	13.0%
Consumo Energía primaria no renovable [kWh/m ² año]	142.5 5	D 14.9%	5.99	A 0.0%	12.76	F 11.9%	36.68	D 0.0%	199.9 4	D 11.7%
Emissiones de CO2 [kgCO2/m ² año]	29.83	C 15.0%	1.02	A 0.0%	2.28	F 12.7%	6.21	D 0.0%	39.67	C 12.4%
Demanda [kWh/m ² año]	116.6 3	F 0.0%	6.15	A 0.0%						

Taula 40. Detall resultats instal·lació condensació (font: CE3X).

5.3.3 Anàlisi econòmic

Amb un estalvi de 25.968,36 kWh/any, i tenint en compte que el preu del gas és de 0,002339 €/kWh, l'estalvi econòmic seria de 60,74 €/any. Amb la inversió inicial considerada, i ometent els costos de manteniment (suposats idèntics als de les calderes actuals), el període de retorn d'amortització (4) és de 489,38 anys.

5.4 Substituir la il·luminació actual amb tecnologia LED

La instal·lació d'il·luminació de l'institut està formada en la seva majoria per tubs fluorescents. La gran majoria fa molts anys que no es canvien, i alguns ja estan arribant al final de la seva vida útil. És un moment ideal per a renovar la instal·lació completament.

En les diferents visites que he fet a l'institut he comprovat que els tubs fluorescents actuals en molts llocs donen una llum feble i descolorida. En aquest apartat consideraré la possibilitat de renovar la instal·lació de fluorescents amb tubs LED.

També s'estudiarà canviar les làmpades d'halogenurs metàl·lics de 250 W del sostre del gimnàs, un total de 12.

5.4.1 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

Actualment l'institut té més de 600 tubs fluorescents de 36 W i 58 W repartits entre l'interior i l'exterior. Els tubs de 36 W són de 1.200 mm i els tubs de 58 W de 1.500 mm.

Alguns dels tubs fluorescents ja han estat canviats per tubs LED. El canvi és molt senzill, ja que els tubs LED es dissenyen per a substituir directament els tubs fluorescents, sense necessitat de fer cap modificació al cablejat o a la instal·lació. Com que desconec la quantitat de fluorescents que han estat canviats (un nombre molt petit), faré els càlculs considerant que en tot l'institut hi ha 507 tubs fluorescents de 36 W i 120 de 58 W.

També s'ha de millorar el nivell d'il·luminació, que s'havia estimat en 150 lux de mitjana. He obtingut els paràmetres d'il·luminació (en lux) recomanats segons el tipus d'espai^[49] i he calculat el flux lluminós (en lúmens) en funció del tipus d'espai, la superfície i el nombre de llums. Tots aquests càlculs es poden veure resumits en una taula a l'Annex I.

Els tubs LED seran tots de la marca Philips, amb preus de juny de 2021^[50]. Els tubs seran escollits entre els models següents, en funció de la longitud, el preu i el flux lluminós:

- **CorePro LEDtube 1200mm 14.5W840.** Tub LED de 1.600 lm, 1.200 mm i 14,5 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 7,19 €.
- **CorePro LEDtube 1200mm HO 18W 840 T8.** Tub LED de 2.000 lm, 1.200 mm i 18 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 10,99 €.
- **MASTER LEDtube VLE 1200mm UO 15.5W 840 T8.** Tub LED de 2.500 lm, 1.200 mm i 15,5 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 15,99 €.
- **CorePro LEDtube 1500mm 20W 840.** Tub LED de 2.200 lm, 1.500 mm i 20 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 8,63 €.
- **CorePro LEDtube 1500 mm HO 24W 840 T8.** Tub LED de 2.700 lm, 1.500 mm i 24 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 12,69 €.
- **MASTER LEDtube VLE 1500mm UO 23W 840 T8.** Tub LED de 3.700 lm, 1.500 mm i 23 W. IRC 80 i llum neutra (4.000 K). Cada unitat val 21,99 €.

Per a escollir aquests models s'han plantejat diverses hipòtesis: els tubs fluorescents actuals són electromagnètics (necessiten encebador) i els tubs LED nous no necessitaran cap modificació en el cablejat i seran introduïts verticalment (no necessitaran casquet rotatori). També si es vol tirar endavant la instal·lació s'haurien de comprovar prèviament aquestes hipòtesis i que els tubs tenen les longituds estimades a partir dels plànols.

La longitud dels LED limita el rang de flux lluminós: això farà que en alguns casos tinguem molta més il·luminació de la necessària. La llum escollida és la més adequada per l'ambient, en aquest cas llum neutra de color blanc (4.000 K)^[51].

Pel que fa a les làmpades del gimnàs, com que no es coneix el model exacte dels dispositius d'il·luminació actual, es proposaran 12 làmpades de sostre LED en funció del seu flux lluminós. El gimnàs, un espai de 408,84 m², necessita una il·luminació de 300 lux. Havent-hi 12 làmpades, això vol dir que cada dispositiu haurà de tenir un flux lluminós d'almenys 10.221 lúmens.

La casa GEWISS té diferents models de làmpades LED dissenyades especialment per a ser utilitzades en espais grans amb sostres alts, com ara un gimnàs. Es proposa el model GWF1000MM840^[52], de 120 W i 17.000 lm, dissenyat per una fàcil reposició de models existents. No n'hi ha amb fluxos lluminosos de l'ordre de 10.000 lm. Tot i així, la potència baixarà de 250 W a 120 W per cada làmpada, cosa que es tradueix en estalvi energètic.

A la següent taula s'agrupen tots els LED escollits i el cost total de la instal·lació. Es considera que els tubs LED s'aniran instal·lant progressivament pel conserge, motiu pel qual no hi ha cost de personal. Tot i així, per les làmpades del gimnàs es contractarà la instal·lació externament (les hores són estimades).

Descripció	Quantitat	Unitat	Cost unitari [€/unitat]	Cost final [€]
CorePro LEDtube 1200mm 14.5W840	395,000	u	7,19	2.840,05
CorePro LEDtube 1200mm HO 18W 840 T8	45,000	u	10,99	494,55
MASTER LEDtube VLE 1200mm UO 15.5W 840 T8	67,000	u	15,99	1.071,33
CorePro LEDtube 1500mm 20W 840	70,000	u	8,63	604,10
CorePro LEDtube 1500 mm HO 24W 840 T8	13,000	u	12,69	164,97
MASTER LEDtube VLE 1500mm UO 23W 840 T8	37,000	u	21,99	813,63
Gewiss ELIA HL GWF1000MM840 120W	12,000	u	184,36	2.212,32
Oficial 1a electricista	5,000	h	19,56	97,80
Ajudant electricista	5,000	h	18,01	90,05
Cost total [€]				8.388,80

Taula 41. Càlcul cost total il·luminació LED (font pròpia).

5.4.2 Canvi en les emissions i estalvi energètic

El següent pas és modelitzar la mesura al CE3X. Per a fer-ho, canviarem els valors de les tres instal·lacions d'il·luminació considerades a la certificació (institut, gimnàs i vestidors). La il·luminació exterior s'ometrà en aquest pas.

Espai	Potència inicial [W]	Il·luminació inicial [lux]	Potència millora [W]	Il·luminació millora [lux]
Institut	25.038	150	12.055	331
Gimnàs	3.832	150	2.120	300
Vestidors	952	150	370	392

Taula 42. Comparació il·luminació abans i després de la millora (font pròpia).

Els valors de la nova il·luminació han estat establerts a partir d'una mitjana ponderada de les noves il·luminacions de cada espai per la seva superfície respectiva. En aquells espais on no hem modificat la il·luminació (com ara la sala d'actes) s'ha mantingut el valor de 150 lux.

Els resultats de la millora implementada al CE3X són els següents:

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro
Demanda de calefacción	120.4 F	116.6 F	-3.2 %
Demanda de refrigeración	4.8 A	6.2 A	22.3 %
Emissiones de calefacción	36.2 E	35.1 D	-3.2 %
Emissiones de refrigeración	0.8 A	1.0 A	22.3 %
Emissiones de ACS	2.6 G	2.6 G	0.0 %
Emissiones de iluminación	3.0 A	6.2 D	51.2 %
EMISIONES GLOBALES	43.0 C	45.3 D	5.0 %




Figura 77. Resultats CE3X il·luminació LED (font: CE3X).

Veiem que els resultats globals en emissions han millorat d'una lletra D a una lletra C: s'han reduït les emissions un 5,0%. Si analitzem el resultat del sistema d'il·luminació, les emissions s'han reduït a la meitat, i hem obtingut una lletra A amb un estalvi del 51,2% en emissions.

Curiosament, la demanda i les emissions de calefacció han augmentat lleugerament, mentre que les emissions i demanda de refrigeració han baixat. Això podria deure's a que el programa detecti pèrdues en forma de calor del sistema d'il·luminació en el cas base, que serien aprofitades per a escalfar l'edifici. En conseqüència, en un escenari de menys pèrdues, necessitarem subministrar més calefacció i no subministrar tanta refrigeració.

Ara ens falta calcular l'estalvi energètic. Els fluorescents canviats tenen una potència total de 25,212 kW. La nova instal·lació LED té una potència de 10,139 kW. La il·luminació del gimnàs ha passat de 3 kW a 1,44 kW. Per a calcular l'estalvi energètic suposem les següents hipòtesis:

- El juliol i l'agost l'institut està tancat.
- L'ocupació d'un mes normal s'ha establert en el 66,67%, ja que l'escola en un mes tipus de 30 dies només en funciona 20.
- La il·luminació interior mai està oberta tota al mateix temps, es suposa un coeficient de simultaneïtat del 60%.
- L'ocupació és de 8 hores diàries.

Així doncs, el consum estimat d'il·luminació abans del canvi és de:

$$C_{abans} = (25,212 + 3) \cdot 8 \cdot 365 \cdot \frac{10}{12} \cdot \frac{20}{30} \cdot 0,60 = 27.459,68 \text{ kWh/any}$$

Anàlogament, el consum de la nova instal·lació seria de 11.270,23 kWh/any. L'estalvi és de 16.189,45 kWh/any.

5.4.3 Anàlisi econòmic

Amb l'estalvi energètic calculat ja podem calcular l'estalvi econòmic que veurem reflectit a les factures d'electricitat. Per una banda, aquest es reflectirà sobre el terme variable. Si considerem un preu de l'electricitat fix de 0,08 €/kWh (obtingut a partir de les factures, tot i que amb la nova tarifa pot variar considerablement), estalviaríem 1.295,16 €/any.

A més a més, podríem estalviar diners canviant el terme de potència. Com que la potència s'ha reduït 16,633 kW, podríem baixar 16,6 kW la potència contractada. El cost per kW i any de la tarifa 3.0 A, tal i com s'ha calculat a l'apartat 5.6.5, és de 81,34 €. Si baixem la potència 16,6 kW obtindrem un estalvi de 1.350,24 €/any en el terme de potència.

L'estalvi total seria de 2.645,40 €/any. Aquest valor ha estat calculat a partir de les factures, però amb la nova tarifa de la llum podria canviar.

Amb aquest estalvi, el període de retorn d'amortització (4) és de tan sols 3,17 anys.

5.5 Instal·lar plaques solars per autoconsum

En aquest apartat s'estudiarà la viabilitat d'instal·lar plaques solars fotovoltaïques a la coberta de l'institut per a generar energia per autoconsum.

L'edifici continuaria connectat a la xarxa elèctrica. Així, si l'energia proporcionada per les plaques no supleix la demanda de l'institut, es podrà consumir energia proporcionada per la companyia elèctrica. És interessant considerar una instal·lació d'autoconsum amb excedents: durant les tardes i els dies festius (especialment a l'estiu, quan hi ha més hores de sol) no hi ha activitat. Això significa que durant les hores en què no hi ha ningú l'institut podria produir electricitat i injectar-la a la xarxa, amb tots els beneficis econòmics i mediambientals que això comporta.

A Espanya les instal·lacions d'autoconsum amb excedents estan regulades pel reial decret RD 244/2019. Aquesta modalitat d'autoconsum és apta per a instal·lacions amb una potència fotovoltaica instal·lada menor a 100 kW^[53]. L'energia que sobra és enviada a la xarxa: la comercialitzadora pot assignar un preu a aquests kWh i descomptar-los de la factura, o bé se li pot vendre aquest excedent d'energia directament.

Una instal·lació solar fotovoltaica connectada a la xarxa està formada pels següents elements^[54, 55]:

- **Sistema de captació.** Format pels mòduls fotovoltaics i els seus suports. Aquests són els encarregats de captar l'energia solar i convertir-la a energia elèctrica en forma de corrent continu.

- **Inversor.** Dispositiu que converteix el corrent continu produït pels mòduls en corrent altern amb els paràmetres de xarxa: 50 Hz de freqüència, 230 V per tensió monofàsica i 400 V per tensió trifàsica. Fins a 5 kW s'utilitza un inversor monofàsic. Per potències més grans s'ha d'utilitzar un inversor trifàsic.
- **Quadre elèctric.** En ell hi haurà els diferents elements de protecció de la instal·lació elèctrica (magnetotèrmics, diferencials, proteccions contra sobretensions...) i els comptadors d'energia.
- **Connexió a terra.** La instal·lació fotovoltaica ha de disposar d'una presa de terra pròpia.

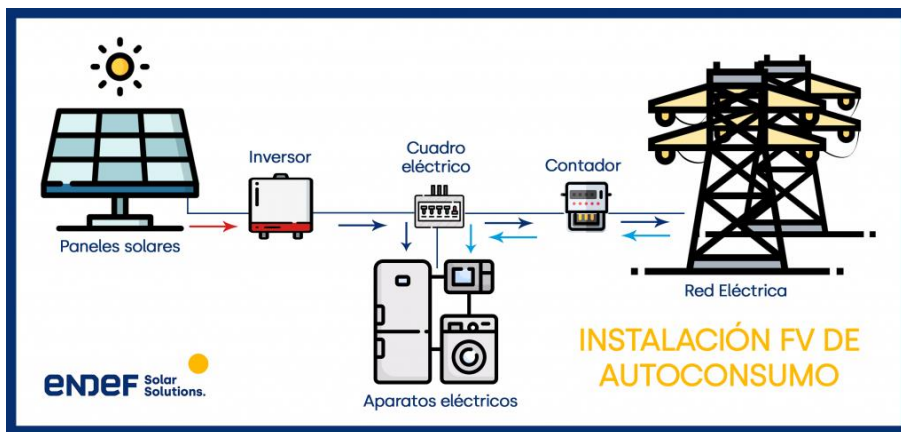


Figura 78. Esquema instal·lació fotovoltaica d'autoconsum connectada a la xarxa [54].

5.5.1 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

Per a saber el cost total de la instal·lació haurem de dimensionar la instal·lació [56].

5.5.1.1 Càlcul potència fotovoltaica preliminar

El primer pas és calcular la potència fotovoltaica necessària preliminar, sense considerar les pèrdues. En primer lloc, haurem d'estudiar quin és el consum de l'institut al llarg del dia i obtenir un consum diari mitjà.

Aquesta distribució la podem obtenir del compte de la comercialitzadora, al qual he pogut tenir accés. He estudiat aquesta distribució 4 dies diferents:

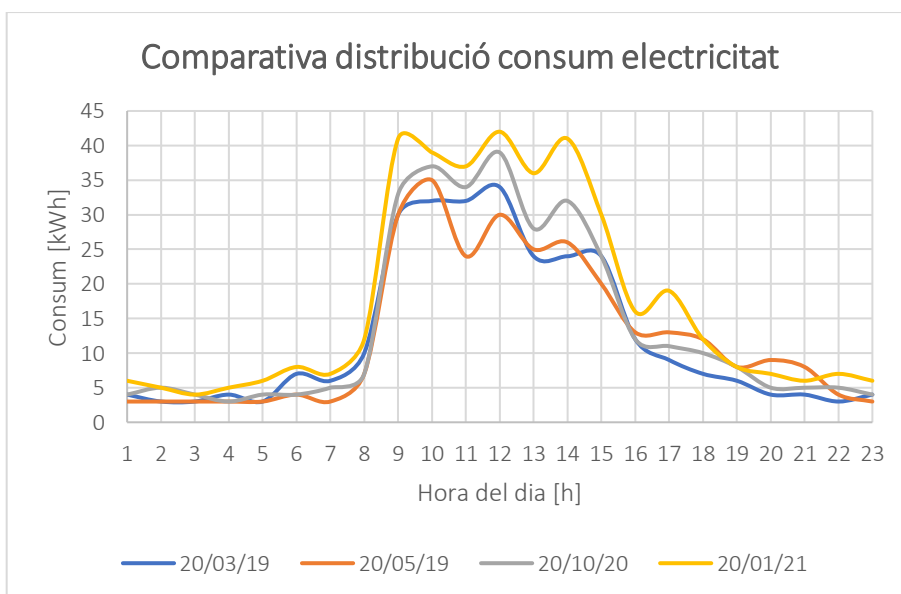


Figura 79. Comparativa distribució consum electricitat (font pròpia).

Tots els dies escollits són dies d'activitat lectiva. Veiem un comportament força similar, on el màxim consum es produeix de les 9h del matí a les 15h de la tarda aproximadament. Durant aquestes hores es quan necessitarem més energia.

Les plaques solars poden tenir diferents orientacions. Encara que el cas ideal sigui orientar-les al sud, si per la distribució de les cobertes no és possible, haurem d'evitar orientar-les al sud-oest o a l'oest: durant les hores de més activitat el sol es trobarà a l'est i al sud, però no a l'oest.

Necessitarem estimar un consum diari mitjà, i utilitzarem com a dada de partida el consum anual d'electricitat calculat a l'apartat 3 (64.719,84 kWh). Un institut està molts dies tancat, de manera que si volem saber el consum mitjà un dia de classe haurem de tenir en compte els següents factors:

- Considerem que hi ha activitat 10 mesos a l'any (juliol i agost s'ometen).
- Considerem que en un mes tipus de 30 dies només hi ha 20 dies lectius (66,67% de dies amb classe).

Si apliquem aquestes proporcions al càlcul del consum diari obtenim un valor de 319,17 kWh. Per a comprovar si aquest valor és correcte el podem comparar amb els consums dels 4 dies estudiats, que són: 289 kWh (20 de març), 289 kWh (20 de maig), 323 kWh (20 d'octubre) i 400 kWh (20 de gener). Efectivament, el càlcul ens ha donat un valor mig similar.

Per a calcular la potència fotovoltaica necessitarem dividir aquest valor per les hores solars pic (HSP), tal i com indica la següent fórmula:

$$\text{Potència fotovoltaica} = \frac{\text{Consum diari [kWh]}}{\text{Hores solars pic (HSP) [h]}}$$

L'hora solar pic és una unitat de mesura de la irradiació solar i es defineix com el temps en hores en què arriba una irradiació solar constant aproximada de 1.000 W/m² per part del sol ^[57].

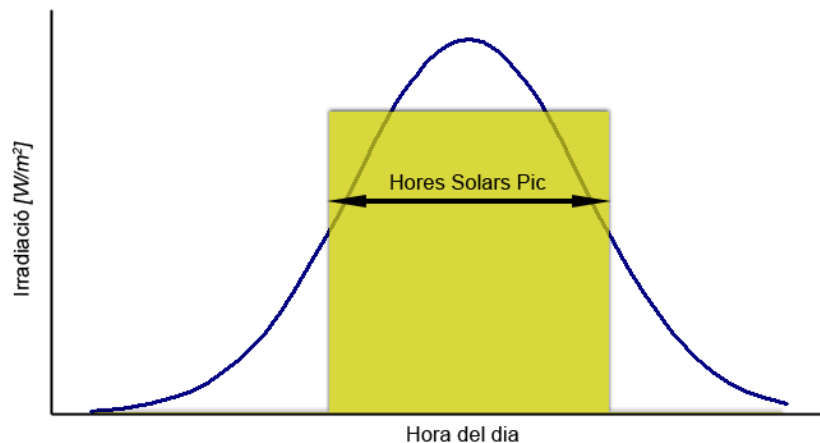


Figura 80. Interpretació gràfica de l'hora solar pic ^[57].

Si comparem les figures 79 i 80, veiem que les corbes estan una mica desfasades, el centre de la primera es troba cap a les 12h i el de la segona cap a la 13h. Tot i així, podem comprovar que quan tenim una major irradiació solar és quan hi ha més activitat a l'institut. Així doncs, veiem que la instal·lació tindria un rendiment molt elevat, ja que la utilitzaríem quan més energia ens pot proporcionar.

Per a calcular les hores solar pic utilitzarem l'aplicació PVGIS de la Unió Europea ^[58], una eina que ens permetrà calcular la irradiació solar mitjana anual a l'institut Manuel de Pedrolo. Agafant un any qualsevol, per exemple 2015, la irradiació mensual és:

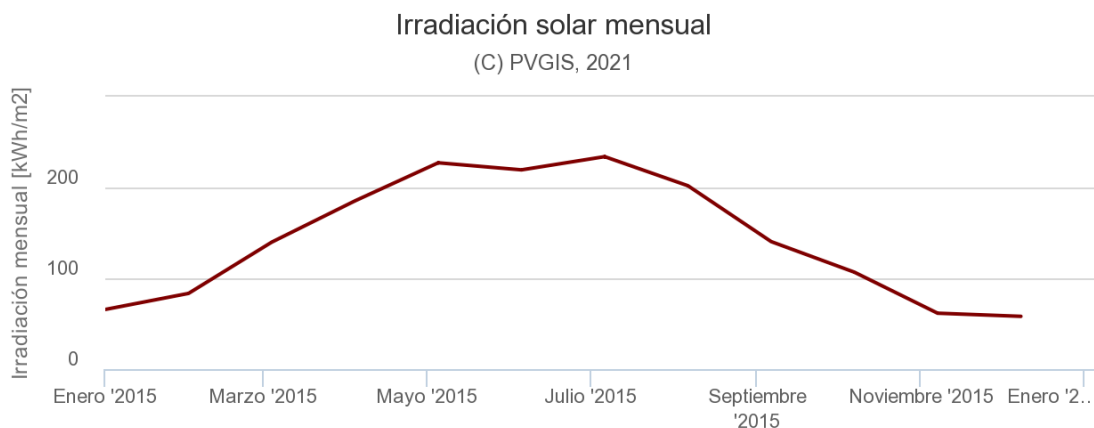


Figura 81. Irradiació solar mensual horitzontal a l'institut ^[58].

Si sumem la irradiació solar de cada mes obtenim un total de 1.723,56 kWh/(m²·any). Això suposa de mitjana 4,72 kWh/m² cada dia. Si dividim aquest valor per 1.000 W/m², obtindrem les hores solars pic, en aquest cas 4,72 HSP.

Enlloc d'utilitzar el valor d'irradiació de tot l'any moltes vegades també s'utilitza el valor del pitjor escenari possible ^[59], com ara el mes de desembre (58,11 kWh/m²). Reproduint els càlculs anteriors obtindríem un valor de 1,87 HSP. Dimensionar la instal·lació tenint en compte la irradiació més baixa permet assegurar un subministrament d'energia de les plaques solars durant tot l'any. Si no es fa així, els mesos amb menys irradiació no es pot obtenir de les plaques tota l'energia que es voldria per a satisfer la demanda.

He decidit escollir el primer valor per a evitar un cost massa elevat de la instal·lació. A més a més, com que l'institut continuarà connectat a la xarxa, sempre pot consumir l'electricitat proporcionada per la companyia aquells mesos en què les plaques no donen suficient energia. Així doncs, la potència de la instal·lació fotovoltaica és:

$$Potència\ fotovoltaica = \frac{319,17\ kWh}{4,72\ HSP} = 67,62\ kW$$

5.5.1.2 Número de mòduls preliminar i pèrdues

Els mòduls fotovoltaics proposats són mòduls monocristal·lins de 380 W del fabricant Ja Solar ^[60]. S'han escollit plaques monocristal·lins perquè són favorables en llocs amb boira ^[61], com ara Tàrraga: absorbeixen millor la radiació que les plaques policristal·lins. El nombre de mòduls necessari serà:

$$Núm.\ mòduls_{previ} = \frac{Potència\ fotovoltaica}{Potència\ mòdul} = \frac{67,62\ kW}{380\ W} = 177,95 \cong 178$$

De manera preliminar, necessitarem 178 mòduls. Tot i així, haurem de sobredimensionar la instal·lació tenint en compte les pèrdues. Normalment les pèrdues són del 20% al 30%. Les diferents causes poden ser:

- Temperatura. Les plaques han estat dissenyades a 25 °C. Quan ens allunyem d'aquesta temperatura apareixen pèrdues.
- Eficiència dels elements de la instal·lació. Les pèrdues en altres elements, com ara el cablejat o l'inversor, s'afegiran a les pèrdues totals.
- Condicions atmosfèriques. La pluja, la neu, els núvols o la boira afectaran el rendiment de la instal·lació.

Podríem calcular les pèrdues degudes a aquests factors. Tot i així, per a evitar estendre'ns, ja que el càlcul d'una instal·lació d'autoconsum no és l'objectiu principal del treball, s'assumiran unes

pèrdues del 20%. A aquestes hi haurem d'afegir les pèrdues degudes a l'orientació i la inclinació de les plaques.

Les plaques estaran ubicades a la coberta de la façana SE (1), és a dir, estaran orientades al SE (140°). Pel que fa a l'angle d'inclinació, aquest serà el mateix que el de la coberta, uns 20° aproximadament.

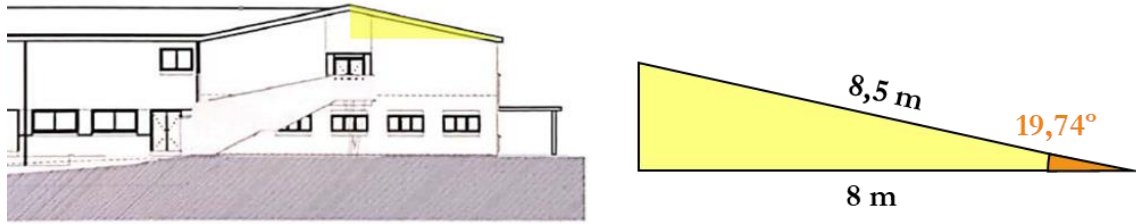


Figura 82. Angle d'inclinació coberta SE (font pròpia).

Per a calcular les pèrdues utilitzarem el següent gràfic, que està pensat per una latitud de 41°. L'institut es troba a la latitud 41,647° [62], per a evitar complicar els càlculs considerem que el gràfic és vàlid.

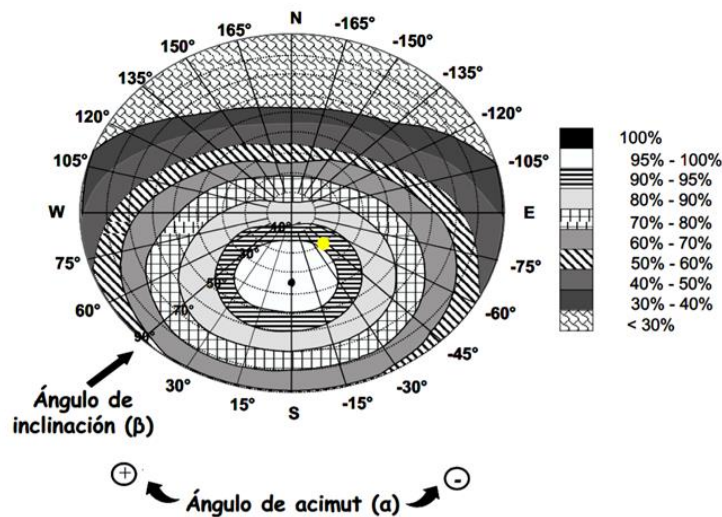


Figura 83. Percentatge d'energia aprofitat en funció dels angles d'orientació i d'elevació [63].

Ens trobem prop de la línia del 95%, així que considerem que l'energia aprofitada és el 94%, és a dir, les pèrdues per orientació i elevació són del 6%.

Finalment, necessitem calcular les pèrdues degudes a les ombres. Utilitzarem el patró d'ombres de la façana SE.

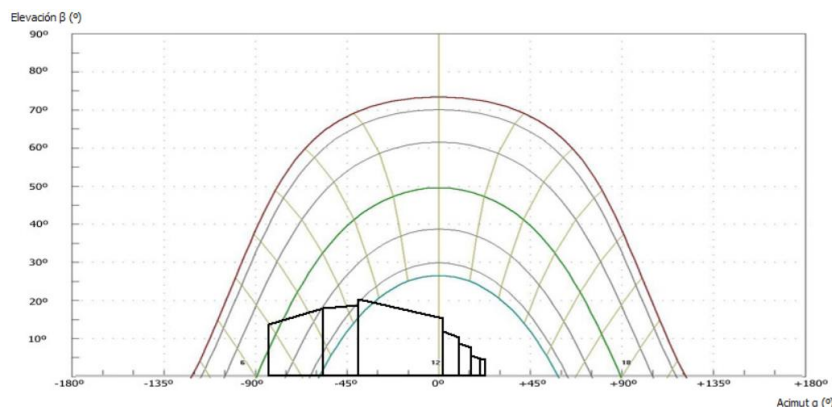


Figura 84. Patró d'ombres SE (font pròpia).

Segons la secció HE5 del *Documento Básico HE Ahorro de Energía*, per a calcular les pèrdues degudes a les ombres hem de considerar el següent diagrama de trajectòria del sol i una taula amb pèrdues d'irradiació en funció de la zona del diagrama. Aquesta taula està dissenyada pels angles d'azimut i elevació més propers als nostres valors.

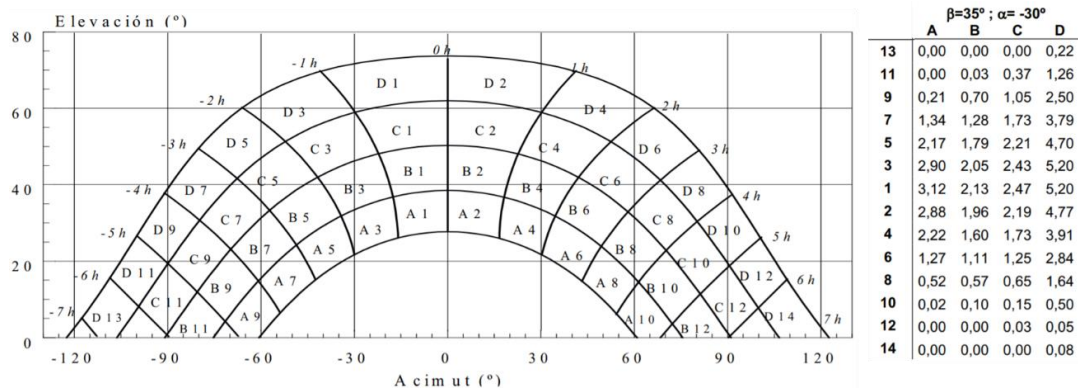


Figura 85. Zones de pèrdues causades per ombres^[63].

Si superposem els dos gràfics obtindrem les zones afectades pel patró d'ombres. Així doncs, utilitzant diferents factors d'emplenament (0,25, 0,50, 0,75 o 1), obtindrem les pèrdues degudes al patró d'ombres. En aquest cas no hem considerat les ombres ocasionades pels arbres, tot i que també s'haurien de tenir en compte si n'hi ha.

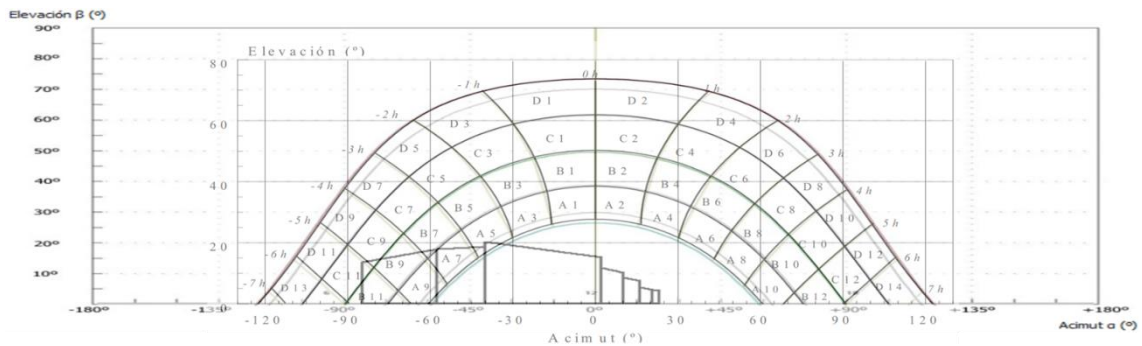


Figura 86. Superposició diagrames (font pròpia).

$$\begin{aligned}
 \text{Pèrdues ombres} &= B_{11} \cdot 0,75 + A_9 + B_9 \cdot 0,50 + A_7 \cdot 0,75 + B_7 \cdot 0,25 + A_5 \cdot 0,25 \\
 &= 0,03 \cdot 0,75 + 0,21 + 0,70 \cdot 0,50 + 1,34 \cdot 0,75 + 1,28 \cdot 0,25 + 2,17 \cdot 0,25 \\
 &= 2,45\%
 \end{aligned}$$

Així doncs, les pèrdues totals (20% generals, 6% orientació i 2,45% ombres) són del 28,45%.

5.5.1.3 Número de mòduls definitiu i selecció de l'inversor

Amb unes pèrdues del 28,45% haurem de redefinir el nombre de mòduls. Perdre aquest percentatge de potència vol dir que les plaques ens proporcionaran realment una potència de 271,89 W cadascuna. Per a continuar tenint 67,62 kW el nou nombre de mòduls haurà de ser:

$$\text{Núm. mòduls}_{def} = \frac{67,62 \text{ kW}}{271,89 \text{ W}} = 248,70 \cong 249$$

Haurem de connectar 249 plaques de 380 W. En conseqüència, l'inversor també estarà sobredimensionat (potència total 94.620 W). Buscarem un inversor de 100 kW. L'inversor escollit és el Huawei SUN2000-100KTL^[64] de 100 kW, un inversor de connexió a xarxa trifàsic.

Aquest inversor està preparat per a ser instal·lat en edificis alimentats amb tensió trifàsica. Amb una eficiència del 98,8%, té una potència de 100 kW i una intensitat de sortida nominal de 152 A (màxima

168 A). Els 10 MPPT que incorpora l'inversor treballen en un rang de 200 V a 1000 V, i poden comptar amb 20 entrades (2 per cada MPPT).

Aquests seguidors del punt de màxima potència (MPPT) permeten instal·lar les plaques en 10 grups diferents, cadascun amb característiques elèctriques o condicions diferents. Així doncs, en aquelles zones de la coberta on es sospita que hi podria haver ombres, es poden instal·lar totes aquelles plaques que depenen d'un MPPT determinat. Aquests seguidors permeten maximitzar l'eficiència de les plaques i ens donen la màxima potència possible en cada moment per cada grup de plaques.

Aquest inversor pot treballar entre els $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ i els $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, i té dispositius de protecció, de monitorització i seccionadors incorporats. Es necessita adquirir separatament per a la monitorització el dispositiu SmartLogger de Huawei i el wattímetre compatible corresponent.

5.5.1.4 Connexió de les plaques solars a l'inversor

Tenim un total de 249 mòduls, i el nombre de mòduls connectats a cada entrada haurien de ser els mateixos i amb la mateixa configuració. És per això que es decideix augmentar la instal·lació a 252 mòduls, la qual disposarà de 18 files de 14 mòduls connectats en sèrie. En 8 MPPT utilitzarem les dues entrades disponibles, mentre que als altres 2 només n'utilitzarem una. Si en un futur es vol ampliar la instal·lació es podria fer amb aquestes dues entrades lliures.

A continuació hem de comprovar que els valors de tensió i intensitat són adequats per l'inversor i estan dins dels rangs permesos pel MPPT. La tensió màxima que pot arribar a proporcionar un mòdul és la tensió en circuit obert (V_{OC}), que és de 41,52 V. En una fila de 14 mòduls connectats en sèrie la màxima tensió serà de 581,28 V. La intensitat a cada entrada serà la mateixa que en un sol mòdul, el valor màxim de la qual és el corrent de curtcircuit (I_{SC}), que és de 11,53 A.

Ara comparem aquests valors amb els del MPPT. Aquest opera de 200 V a 1.100 V, sent la màxima tensió permesa 1.100 V. Estem perfectament dins el rang amb una tensió màxima de 581,28 V (les entrades estan connectades en paral·lel, la tensió és la mateixa). Pel que fa a la intensitat, en aquells MPPT amb dues entrades la intensitat serà el doble (23,06 A), i en els que tenen una entrada serà la mateixa (11,53 A). En ambdós casos estem per sota de la intensitat màxima d'entrada (26 A) i la intensitat màxima de curtcircuit (40 A).

Com que es tracta d'un anàlisi simplificat no hem tingut en compte els factors de correcció que s'haurien d'aplicar als valors obtinguts.

5.5.1.4 Ubicació a la coberta

Com s'ha comentat anteriorment, la intenció és col·locar les plaques a la coberta SE. La cara de la coberta que volem omplir amb plaques fa 61 m d'amplada per 8,5 m d'alçada aproximadament. Això ens dona una superfície total de 518,5 m².

Cada placa té unes dimensions de 1052x1774, és a dir, una superfície de 1,866 m². Això implica que si poguéssim ocupar tot l'espai de la coberta tindríem lloc per 277 plaques.

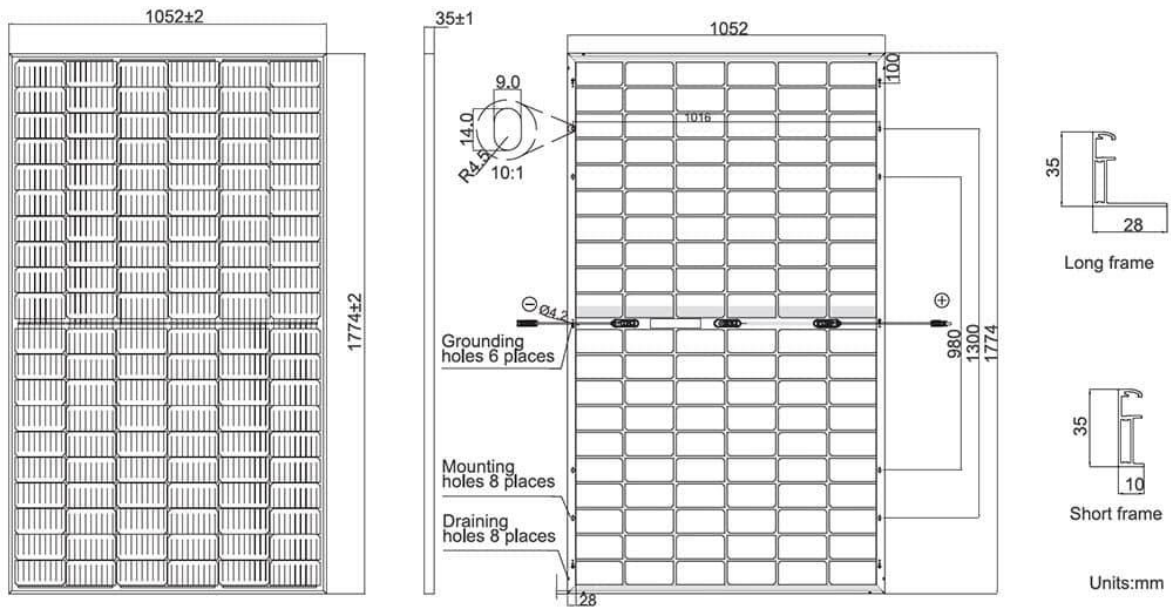


Figura 87. Esquema placa solar Ja Solar 380 W monocrystal-line ^[60].

Per a aprofitar més espai es muntaran les plaques horitzontalment. Segons els càlculs realitzats, a la pràctica tindriem espai per a 272 plaques (34 horitzontalment i 8 verticalment). Com que necessitariem instal·lar 252 plaques, estem dins el límit que ens deixa la coberta. Quedarien distribuïdes de la següent manera:



Figura 88. Distribució plaques coberta (font pròpia).

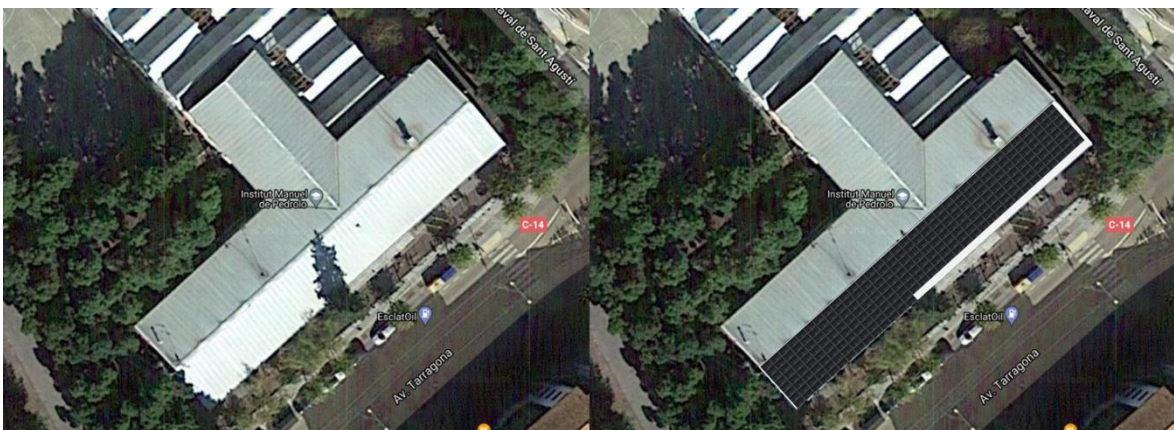


Figura 89. Simulació plaques sobre coberta (font pròpia).

Sembla que hi ha un arbre molt alt davant de la façana que podria causar ombres importants, tal i com es veu a la figura. S'hauria d'examinar més detalladament i considerar la possibilitat de talar-lo si causa massa ombra.

Per a col·locar les plaques sobre la coberta es proposen 34 suports de 8 plaques dissenyats per a cobertes metàl·liques ^[65]. S'hauria de calcular si la coberta aguantaria el pes de tota l'estructura, incloent suports i plaques, a banda del vent, la neu o altres agents meteorològics externs.

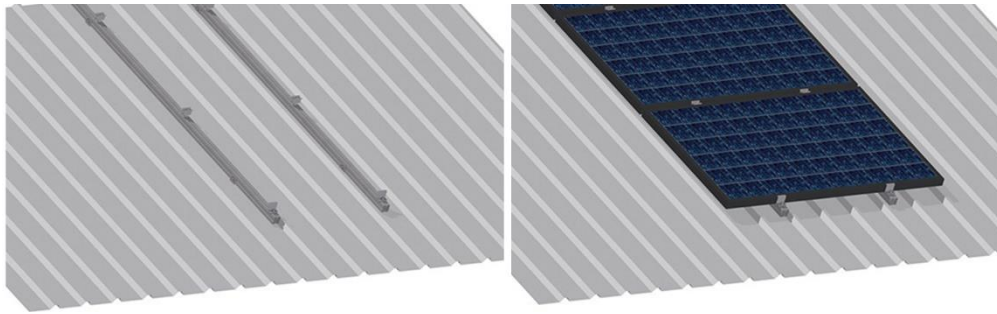


Figura 90. Estructura proposada [65].

5.5.1.5 Altres elements

Finalment, caldrà afegir altres costos com el cablejat de la instal·lació, els diferents elements de protecció, accessoris, mà d'obra... Per a evitar allargar massa aquesta secció se li assignarà a tots aquests costos un 25% del cost total. Aquest percentatge s'ha obtingut a partir del següent gràfic de distribució de costos d'un sistema d'energia solar fotovoltaica:

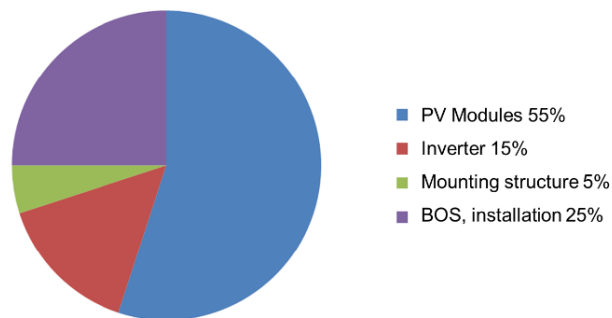


Figura 91. Distribució de costos sistema d'energia solar fotovoltaica [66].

5.5.1.6 Cost final

Havent analitzat els diferents elements per separat, el cost total de la instal·lació és el següent:

Descripció	Quantitat	Unitat	Cost unitari [€/unitat]	Cost final [€]
Placa solar Ja Solar 380 W monocristal·lina PERC	252,000	u	160,01	40.322,52
Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 trifàsic 100 kW	1,000	u	7.359,83	7.359,83
Estructura coberta metàl·lica 8 plaques	34,000	u	264,48	8.992,32
Altres costos	25,000	%	75.566,23	18.891,56
Cost total [€]				75.566,23

Taula 43. Càlcul cost total instal·lació solar fotovoltaica (font pròpia).

5.5.2 Canvi en les emissions i estalvi energètic

Aquesta mesura es pot modelitzar al CE3X com a una contribució energètica que ens genera un total de 64.719,84 kWh/any. Tècnicament, les emissions seran les mateixes ja que actualment l'institut contracta una comercialitzadora que assegura un origen de l'energia 100% renovable. Tot i així, podem modelitzar-ho al CE3X i comentar-ne els resultats.

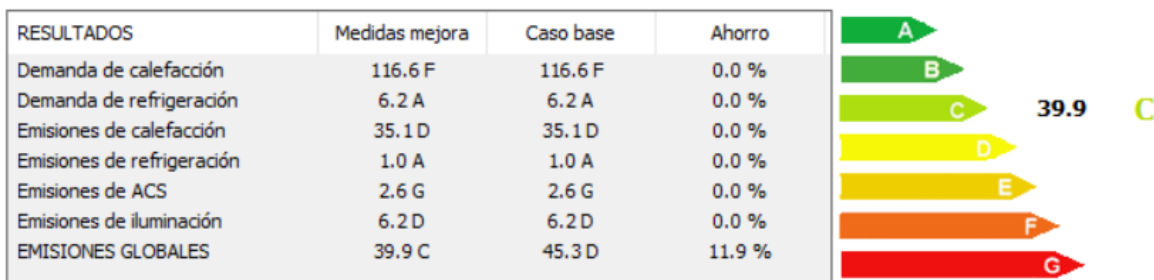


Figura 92. Resultats CE3X instal·lació solar fotovoltaica (font: CE3X).

Es redueixen un 11,9% les emissions globals i la qualificació global en emissions passa a ser una C.

Pel que fa a l'estalvi energètic no n'hi ha, ja que continuarem consumint el mateix. Això sí, com que l'energia serà generada al lloc de consum ja no tenim pèrdues per transport i deixem de dependre tant de la xarxa elèctrica.

5.5.3 Anàlisi econòmic

L'estalvi econòmic d'aquesta mesura prové de la reducció de l'import de la factura elèctrica. Aquest es veurà reduït de les següents maneres:

- Tota l'energia generada per autoconsum ja no serà adquirida de la xarxa elèctrica, de manera que no l'haurem de pagar.
- Obtindrem bonificacions per la injecció de l'energia sobrant a la xarxa elèctrica quan no hi ha consum (principalment dies festius).
- Es pot baixar la potència contractada.

A la següent taula es mostren les dades que ens serviran per a calcular l'estalvi econòmic. Hem definit per cada mes la irradiació mensual, que correspon a les HSP de cada mes. Sabent que la potència és de 67,62 kW, si la multipliquem per les HSP obtindrem la producció d'energia solar de cada mes.

Comparant aquests valors amb els consums d'electricitat estimats a partir de les factures podrem obtenir la quantitat d'energia que continuarem consumint de la comercialitzadora i l'excés d'energia que abocarem a la xarxa. Les tres darreres columnes expressen el cost de les factures, el cost de l'energia variable contractada a la comercialitzadora en cas d'instal·lar fotovoltaica (preu mig suposat de 0,08 €/kWh) i la compensació econòmica que rebrem pels excedents (a 0,06 €/kWh) ^[67].

Finalment, per a baixar la potència contractada hauríem d'analitzar l'historial de màximes almenys al llarg d'un any per a veure fins a quin valor podríem reduir la potència contractada. En aquest cas no considerarem aquesta reducció. Tal i com hem comentat anteriorment, el cost de la tarifa 3.0A per kW i any és de 81,34 €. És a dir, el cost estimat del terme de potència és de 7.452,37 €/any.

L'estalvi econòmic anual serà:

$$Est. econ. = (16.661,80 - 7.452,37) - 903,26 + 3.352,90 = 11.659,07 \text{ €/any}$$

I el període de retorn de l'amortització és de 6,48 anys. Si a més a més es fa una reducció de la potència contractada, l'estalvi és major i la inversió es recupera amb menys temps.

Mes	HSP mensuals [h] / Irradiació mensual	Producció d'energia solar [kWh]	Energia factures ORIGINAL [kWh]	Energia xarxa MILLORA [kWh]	Excés fotovoltaica MILLORA [kWh]	Cost factures ORIGINAL [€]	Cost variable MILLORA [€]	Compensació excedents MILLORA [€]
Gener	65,69	4.441,96	8.137,21	3.695,25	0,00	1.746,69	295,62	0,00
Febrer	83,37	5.637,48	7.427,29	1.789,81	0,00	1.398,98	143,18	0,00
Març	139,83	9.455,30	7.236,42	0,00	2.218,88	1.541,36	0,00	133,13
Abril	185,27	12.527,96	6.233,65	0,00	6.294,31	1.435,70	0,00	377,66
Maig	227,22	15.364,62	6.279,62	0,00	9.085,00	1.454,39	0,00	545,10
Juny	219,42	14.837,18	4.858,48	0,00	9.978,70	1.263,30	0,00	598,72
Juliol	233,97	15.821,05	3.019,65	0,00	12.801,40	1.077,43	0,00	768,08
Agost	201,95	13.655,86	2.374,74	0,00	11.281,12	1.008,61	0,00	676,87
Setembre	140,43	9.495,88	5.477,00	0,00	4.018,88	1.290,05	0,00	241,13
Octubre	106,74	7.217,76	7.014,43	0,00	203,33	1.471,67	0,00	12,20
Novembre	61,56	4.162,69	7.441,38	3.278,69	0,00	1.499,69	262,30	0,00
Desembre	58,11	3.929,40	6.456,39	2.526,99	0,00	1.473,93	202,16	0,00
TOTAL	1.723,56	116.547,14	64.719,84	11.290,74	55881,62	16.661,80	903,26	3352,90

Taula 44. Dades anàlisi econòmic (font pròpia).

5.6 Canviar la potència contractada

Aquesta mesura no suposarà un canvi en la qualificació energètica de l'edifici, però pot comportar un gran estalvi econòmic. L'edifici principal té una potència contractada de 87 kW, mentre que el gimnàs té una potència contractada de 20,785 kW. Aquestes valors sorgeixen de la suma de les potències dels diferents elements que constitueixen la instal·lació, els quals es poden consultar amb detall a l'annex E.

L'institut arribaria a utilitzar aquesta potència si tingués tots els endolls ocupats i tots els llums encesos, amb tots els aparells funcionant simultàniament. Tot i així, aquest cas no es donarà mai. Estudiant l'historial de màximes de les factures podem corroborar aquesta hipòtesi.

		Gener 2019	Febrer 2019	Març 2019	Abril 2019	Maig 2019	Juny 2019	Juliol 2019	Agost 2019	Setembre 2019	Octubre 2019	Novembre 2019	Desembre 2019	Gener 2020	Febrer 2020	Març 2020	Abril 2020	Maig 2020	Juny 2020	Juliol 2020	Agost 2020	Setembre 2020	Octubre 2020	Novembre 2020	Desembre 2020	Gener 2021	Febrer 2021	
Institut	P1	14	15	19	37	34	30	12	16	31	33	15	17	20	14	15	5	5	7	17	6	31	39	12	14	13	13	
	P2	45	45	39	41	39	33	11	16	32	34	46	44	46	42	39	5	6	8	15	6	34	39	42	43	49	49	
	P3	14	22	11	19	17	14	5	9	16	15	20	18	22	20	20	5	5	5	12	5	15	16	19	19	20	20	
	P4	7	7	5	8	7	6	5	5	6	6	6	8	6	8	5	6	4	4	5	5	5	5	5	5	8	6	6
	P5	7	14	7	12	5	5	5	5	6	6	6	10	7	11	6	5	5	5	5	9	5	8	6	5	9	8	8
	P6	7	7	5	6	5	6	5	5	6	6	6	8	7	6	7	6	5	5	5	9	6	5	6	6	8	7	7
Gimnàs	P1	6		7	2	3	3	0	1	3	4	5	4	6	5		4	0		0								
	P2	7		6	4	2	2	0	1	3	5	5	6	6	6		5	0		1								
	P3	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0		0								
	P4	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0		0								
	P5	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0		1								
	P6	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		0	0		1								

Taula 45. Historial màximes en kW (font: factures).

A la *taula 45* hi ha tots els valors de l'historial de màximes pels dos contractes d'electricitat. Els màximes marquen la màxima potència que hi ha hagut en un interval de 15 minuts.

He marcat en vermell aquells valors de les factures del gimnàs que no es poden considerar vàlids (marquen el màxim cobrat, 17,67 kW pels 6 períodes). En comparació amb altres mesos aquests valors són excessivament elevats, per la qual cosa s'hauria de revisar el correcte funcionament del màxime del gimnàs abans de prendre cap decisió.

En totes les factures l'institut ha sigut beneficiari de rebaixes, ja que no tan sols sempre està sota la potència contractada, sinó que també el valor màxim marcat pel màxime sempre està per sota del 85% del valor de la potència contractada (73,95 kW i 17,67 kW).

5.6.1 Tarifa 3.0A i tarifa 3.0TD

La tarifa 3.0A, contractada pel gimnàs i l'institut, deixa de ser vàlida el juny de 2021. Aquesta tarifa és utilitzada en tots els punts de subministrament de baixa tensió amb més de 15 kW de potència contractada. La potència és factura en tres períodes, els quals poden tenir una potència contractada diferent. En cap cas el subministrament queda interromput en superar-la. Es poden aplicar recàrrecs o rebaixes en funció dels valors registrats pels màximes ^[20].

Els tres períodes en què factura la tarifa 3.0A són ^[68]:

- **P1 (període punta).** En aquest període (4 hores al dia) la potència i l'energia són més cares. Els dies festius s'anomena P4. A la península ibèrica, l'horari d'hivern va de 18h a 22h i el d'estiu de 11h a 15h.
- **P2 (període pla).** Són 12 hores al dia i els dies festius s'anomena P5. L'horari d'hivern és de 8h a 18h i de 22h a 0h. L'horari d'estiu és de 8h a 11h i de 15h a 0h.
- **P3 (període vall).** En aquest període (8 hores al dia), la potència i l'energia són més barates. Els dies festius s'anomena P6. L'horari d'hivern i d'estiu són el mateix, de 0h a 8h.

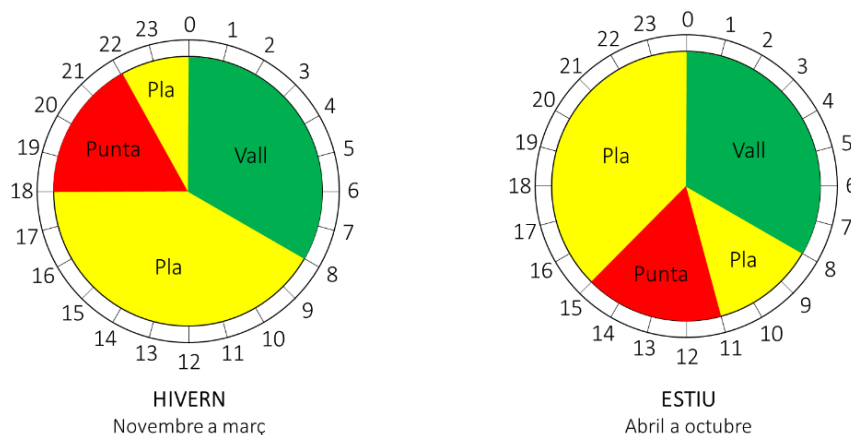


Figura 93. Distribució horària tarifa 3.0A (font pròpia).

Així doncs, es podria baixar la potència contractada per períodes. Això faria baixar el cost del terme fix de la factura, que es paga fins i tot quan no hi ha consum.

Tot i així, com he comentat anteriorment, la tarifa 3.0A deixa de ser vàlida el juny de 2021. A partir de l'1 de juny, aquesta es substitueix per la tarifa 3.0TD. En aquesta nova tarifa es passa de 3 períodes a 6, tant pel terme de potència com pel terme de consum. L'horari d'aquests períodes no depèn de si estem a l'estiu o a l'hivern, sinó de la temporada en què ens trobem. El P1 serà el període més car i el P6 el més barat ^[69].

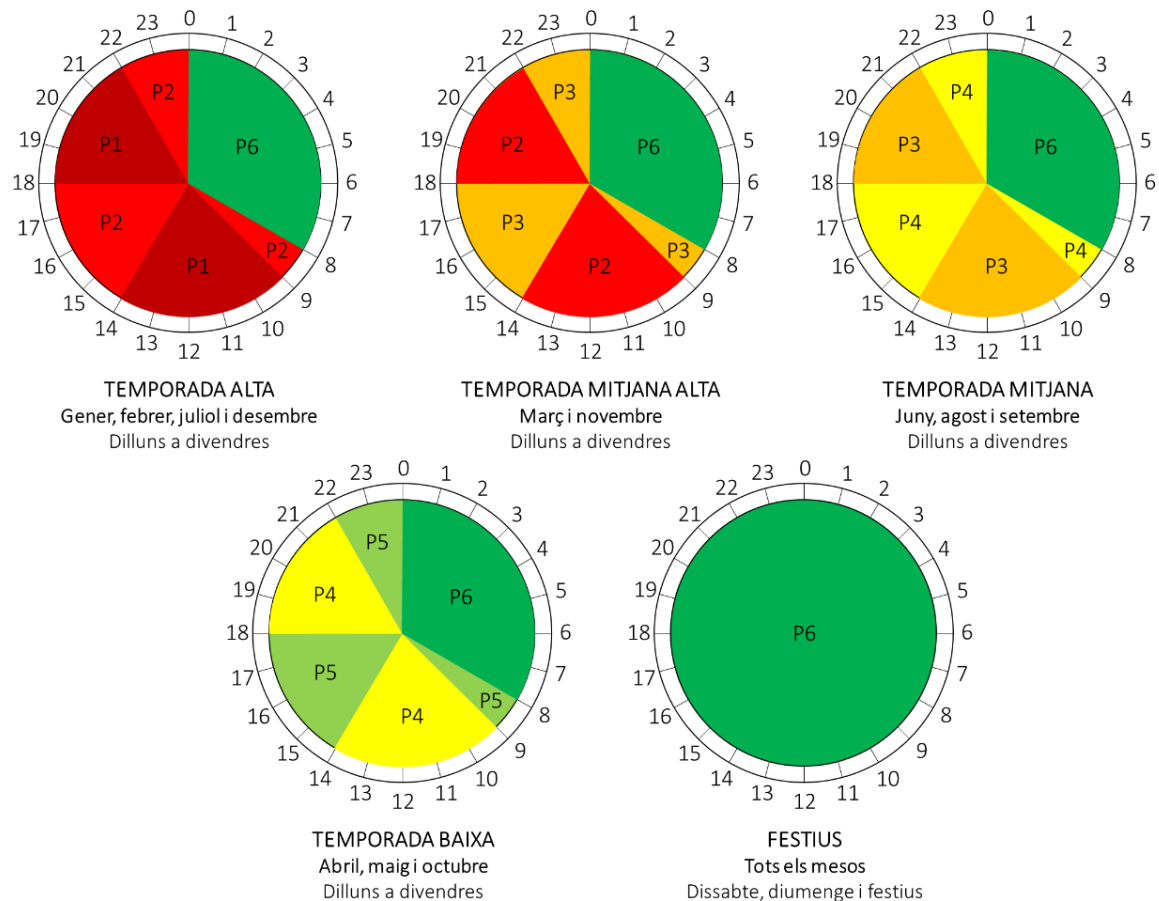
Les temporades afecten als dies laborables, és a dir, de dilluns a divendres. Aquests dies podem distingir quatre temporades diferents a la península en funció del mes ^[69]:

- **Temporada alta.** Gener, febrer, juliol i desembre.
- **Temporada mitjana alta.** Març i novembre.
- **Temporada mitjana.** Juny, agost i setembre.
- **Temporada baixa.** Abril, maig i octubre.

Els dissabtes, diumenges i festius s'aplica el període P6 (el més barat) totes les hores del dia. Això perjudica a l'institut, ja que aquests dies està tancat i no hi ha classe.

En canvi, les hores d'activitat punta a l'institut, els dies laborables de 8h a 15h, és quan hi ha els períodes més cars. Convindrà escollir adequadament les potències dels diferents períodes per a aconseguir un major estalvi.

La distribució dels mesos és desigual. Com que hi ha activitat a l'institut 10 dels 12 mesos de l'any, haurem de considerar que durant les quatre temporades hi ha activitat plena.



Taula 46. Distribució horària tarifa 3.0TD (font pròpia).

5.6.2 Tria del terme de potència adequat

5.6.2.1 Edifici principal

Comencem analitzant els valors registrats pels màximes de l'edifici principal. Els valors en blau han estat afectats pel confinament derivat de la pandèmia de la COVID-19.

Període	Hora	Activitat	P _{MIN} [kW]	P _{MAX} [kW]
P1 hivern	18h a 22h	Baixa	12	20
P2 hivern	8h a 18h i de 22h a 0h	Alta	39	49
P3 hivern	0h a 8h	Baixa	11	22
P4 hivern	18h a 22h	Baixa	5	8
P5 hivern	8h a 18h i de 22h a 0h	Baixa	5	14
P6 hivern	0h a 8h	Baixa	5	8
P1 estiu	11h a 15h	Alta	5	39
P2 estiu	8h a 11h i de 15h a 0h	Alta	5	41
P3 estiu	0h a 8h	Baixa	5	19
P4 estiu	11h a 15h	Baixa	4	8
P5 estiu	8h a 11h i de 15h a 0h	Baixa	5	12
P6 estiu	0h a 8h	Baixa	5	9

Taula 47. Valors mínims i màxims màxímetre edifici principal (font pròpia).

Veiem que la màxima potència assolida en qualsevol dels períodes és de 49 kW. Tot i així, la potència contractada per l'institut és de 87 kW. Encara que hi hagi una bonificació, ja que a les factures només es paga el 85% de la potència contractada (73,95 kW), cada mes es paguen 25 kW que mai s'arriben a gastar.

Amb l'arribada d'aquesta nova tarifa, la bonificació del 85% desapareix. A més a més s'estableix un nou sistema de penalitzacions en cas de superar la potència contractada ^[70]:

- Per a contractes de 15 kW a 50 kW, si algun valor registrat pel màxímetre és superior a la potència contractada per un període determinat, s'aplica una penalització per a tot el mes.
- Per a contractes de 50 kW a 450 kW, es penalitzarà per excessos quarthoraris. Si algun valor registrat pel màxímetre és superior al de la potència contractada per un període determinat, s'aplicarà una penalització per aquest quart d'hora.

Sabent això, hem vist que en períodes d'activitat alta, l'institut pot arribar a 49 kW. Per a assegurar que no es passa la potència contractada, proposo contractar una potència d'un 25% superior al màxim valor registrat. Decideixo aproximar el resultat (61,25 kW) a 60 kW. Convé destacar que el més probable és que no es passin els 50 kW. Si a això li sumem la possibilitat que l'institut apliqui altres mesures de millora energètica (com canviar la il·luminació de tubs fluorescents per tubs LED), la diferència entre la potència contractada i la real encara seria major.

Els períodes P1, P2, P3, P4 i P5 de les noves tarifes ens coincideixen tots amb les hores de més activitat a l'institut. És per això que la potència contractada per aquests períodes haurà de ser de 60 kW. Pel que fa al període P6, com que les potències dels períodes P2 a P6 han de ser majors o iguals a la potència del P1, serà necessari que sigui 60 kW (encara que l'activitat en aquest període sigui molt menor).

Així doncs, amb la nova tarifa, els períodes P1, P2, P3, P4 i P5 P6 la potència contractada hauria de ser de 60 kW.

5.6.2.2 Gimnàs

Pel que fa al gimnàs, els valors mesurats pel màxímetre són els següents:

Període	Hora	Activitat	P _{MIN} [kW]	P _{MAX} [kW]
P1 hivern	18h a 22h	Baixa	4	7
P2 hivern	8h a 18h i de 22h a 0h	Alta	5	7
P3 hivern	0h a 8h	Baixa	0	1
P4 hivern	18h a 22h	Baixa	0	1
P5 hivern	8h a 18h i de 22h a 0h	Baixa	0	1
P6 hivern	0h a 8h	Baixa	0	1
P1 estiu	11h a 15h	Alta	0	4
P2 estiu	8h a 11h i de 15h a 0h	Alta	0	5
P3 estiu	0h a 8h	Baixa	0	0
P4 estiu	11h a 15h	Baixa	0	0
P5 estiu	8h a 11h i de 15h a 0h	Baixa	0	1
P6 estiu	0h a 8h	Baixa	0	1

Taula 48. Valors mínims i màxims màxímetre gimnàs (font pròpia).

Els valors del gimnàs són molt més baixos que els de l'edifici principal. Hi ha un error a la lectura del màxímetre, per la qual cosa s'haurà de revisar abans de fer cap acció.

La potència màxima registrada és de 7 kW. La potència contractada per l'institut amb l'anterior tarifa és de 20,785 kW (17,67 kW amb reducció). En aquest cas també es pot baixar la potència contractada. Hi ha dos possibles opcions: unificar els dos contractes d'electricitat o contractar una tarifa menor pel gimnàs.

Per a contractes menors de 15 kW hi haurà la tarifa 2.0TD. Aquesta tarifa constarà de 3 períodes (punta, vall i pla), sent la distribució horària la de la següent figura. El període punta (P1) és el més car, mentre que el període vall (P3) el més barat ^[71].

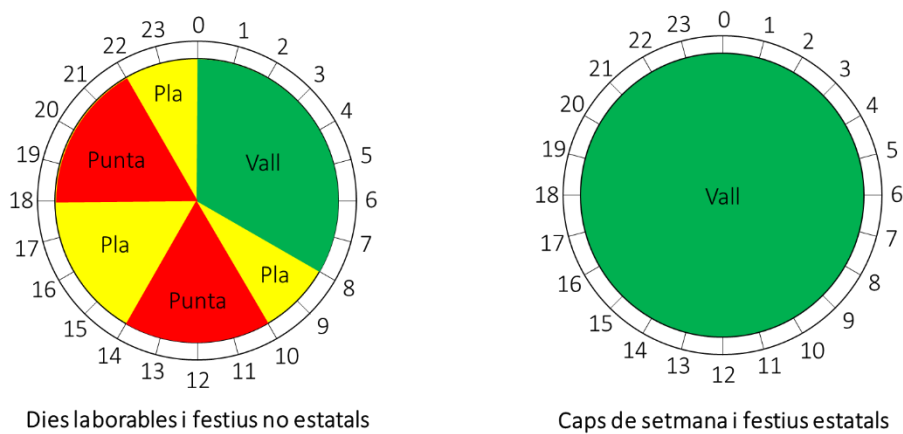


Figura 94. Distribució horària tarifa 2.0TD (font pròpia).

Amb aquesta tarifa es podran contractar dos potències diferents, una pel període vall (P3) i una altra pels períodes punta i pla (P1-P2). Tenint en compte que el màxim registrat és de 7 kW, podríem contractar una potència d'uns 13 kW pels períodes P1 i P2, per a evitar penalitzacions per excés de potència.

Pel que fa al període P3, correspondria als períodes P3, P4, P5 i P6 de l'anterior tarifa (tant per hivern com per estiu). En aquests períodes la màxima potència ha estat d'1 kW. Contractant 4 kW en tindrem de sobres per aquest període.

En el cas d'unificar els dos contractes en un sol contracte amb la tarifa 3.0TD, podríem contractar una potència de 70 kW per a tots els períodes. Per a escollir quina opció és millor, convindrà fer un anàlisi tècnic i econòmic.

5.6.3 Anàlisi tècnic i cost d'inversió

Des del punt de vista tècnic, no hi ha cap dificultat. Simplement s'ha de contactar la comercialitzadora d'electricitat per a realitzar un canvi en la potència contractada. El cost d'aquesta acció és nul, de 0 €.

5.6.4 Canvi en les emissions i estalvi energètic

Aquesta mesura no afecta a la certificació energètica de l'edifici, de manera que no serà necessari modelitzar-la al CE3X. Tampoc hi ha un estalvi energètic, ja que simplement es tracta d'una mesura econòmica.

5.6.5 Anàlisi econòmic

Per a l'anàlisi econòmic estudiarem tres costos diferents:

- Cost dels termes de potència amb la tarifa 3.0A.
- Cost dels termes de potència amb la tarifa 3.0TD (institut) i 2.0TD (gimnàs).
- Cost del terme de potència amb la tarifa 3.0TD per un sol contracte unificat.

He calculat el cost mig per KW i any de la tarifa 3.0A pels períodes P1, P2 i P3 a partir dels costos unitaris de les factures (canvien el gener de 2020).

$$C_{P1,3.0A} = \frac{11,1586 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}} + 11,1281 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}}}{2} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ cent}\epsilon} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} = 40,67 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}}$$

$$C_{P2,3.0A} = \frac{6,6952 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}} + 6,6769 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}}}{2} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ cent}\epsilon} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} = 24,40 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}}$$

$$C_{P3,3.0A} = \frac{4,4634 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}} + 4,4512 \frac{\text{cent}\epsilon}{\text{kW} \cdot \text{dia}}}{2} \cdot \frac{1 \text{ €}}{100 \text{ cent}\epsilon} \cdot \frac{365 \text{ dies}}{1 \text{ any}} = 16,27 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}}$$

Així doncs, amb la potència pagada, el cost total per any del terme de potència amb la tarifa 3.0A és:

$$C_{3.0A} = (73,95 + 17,67) \text{ kW} \cdot (40,67 + 24,40 + 16,27) \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}} = 7.452,37 \text{ €/any}$$

Aquest valor és molt significatiu. Si no hi hagués activitat a l'institut durant tot l'any, s'hauria de pagar aquest import de totes maneres.

Els preus aplicables a les tarifes que entraran en vigor a partir de l'1 de juny de 2021 són els següents:

Peaje T&D	Término de potencia (€/kW año)					
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
2.0 TD	30,67266	1,424359				
3.0 TD	19,596985	13,781919	7,005384	6,106183	4,399377	2,636993
6.1 TD	30,535795	25,894705	14,909149	12,094449	3,93866	2,108689
6.2 TD	20,728247	18,003273	9,468519	8,660843	2,442915	1,368296
6.3 TD	15,916556	13,734256	7,908598	5,282919	2,296574	1,436392
6.4 TD	14,187995	10,305849	5,219607	4,146783	1,405484	0,984592

Taula 49. Termes de potència nou sistema tarifari ^[72].

Així doncs, el cost de contractar la potència en dos contractes separats (60 kW institut i 13 i 4 kW gimnàs) seria:

$$C_{dos\ contractes} = (19,60 + 13,78 + 7,01 + 6,11 + 4,40 + 2,64) \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}} \cdot 60 \text{ kW} \\ + 30,67 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}} \cdot 13 \text{ kW} + 1,42 \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}} \cdot 4 \text{ kW} = 3.616,79 \text{ €/any}$$

I, pel que fa al cost d'un contracte únic:

$$C_{contracte\ únic} = (19,60 + 13,78 + 7,01 + 6,11 + 4,40 + 2,64) \frac{\text{€}}{\text{kW} \cdot \text{any}} \cdot 70 \text{ kW} \\ = 3.747,80 \text{ €/any}$$

Així doncs, veiem que la opció més rentable és la primera. Comparat amb el cost de l'anterior sistema tarifari, s'estalviarien uns 4.000 €/any. Tot i així, per ser rigorosos hauríem de comparar-lo amb el cost de mantenir la mateixa potència contractada (87 kW i 20,785 kW): 5.770,81 €/any. És a dir, amb una simple trucada l'estalvi seria de 2.154,02 €/any.

Finalment, convé aclarir que aquesta mesura afecta només al terme de potència. Amb el nou sistema tarifari el cost del terme d'energia pot augmentar un 10% ^[69] seguint el model actual de consum. Això es podria arreglar movent l'activitat lectiva a períodes en què el preu de l'energia sigui més baix, tot i que en el cas d'un institut això és pràcticament impossible.

A més a més, el cost de la factura d'electricitat pot veure's reduït amb la instal·lació d'equipaments energètics més eficients o d'instal·lacions d'autoconsum, tal i com s'ha comentat en mesures anteriors.

Amb un cost nul, el període d'amortització és de 0 anys.

5.7 Hàbits de consum

Finalment, es proposen una sèrie de mesures encarades a millorar els hàbits de consum de l'usuari. Aquestes contribuiran a un major estalvi energètic i econòmic. Són les següents:

- Tancar els llums sempre que no s'utilitzin. Aprofitar al màxim la llum natural.
- Tancar les finestres a l'hivern. Regular la calefacció perquè aquesta no sigui excessiva.
- Tot i que és difícil modificar els horaris, consumir energia quan aquesta és més barata i evitar consumir durant el període punta.
- Minimitzar el consum *standby* dels aparells, sobretot si no es fan servir sovint.
- Realitzar tallers per conscienciar els alumnes de la importància d'estalviar energia.

Millorar el comportament energètic d'un edifici també és possible amb la col·laboració de cada individu. Tots podem contribuir posant-hi el nostre granet de sorra.

6 Resultats

En aquest apartat s'analitzen les diferents mesures estudiades i la seva viabilitat. Amb les conclusions extretes es fa una descripció de les accions futures a fer per l'institut.

6.1 Anàlisi resultats

En primer lloc, agrupem en una taula tots els resultats obtinguts a la secció anterior.

Mesura	Nova qualificació emissions	Estalvi energètic [kWh/any]	Inversió inicial [€]	Estalvi econòmic [€/any]	Payback [anys]
Cobrir les façanes amb SATE	C	131.497,14	81.848,19	738,70	110,8
Instal·lar una caldera de biomassa	A	9.815,63	85.438,85	2.310,27	36,98
Instal·lar calderes de condensació	C	25.968,36	29.725,19	60,74	489,38
Substituir la il·luminació actual amb tecnologia LED	C	16.189,45	8.388,80	2.645,40	3,17
Instal·lar plaques solars per autoconsum	C	0,00	75.566,23	11.659,07	6,48
Canviar la potència contractada	D	0,00	0,00	2.154,02	0,00

Taula 50. Resum resultats (font pròpia).

Convé comentar que per a calcular l'estalvi energètic del SATE s'han utilitzat els valors absoluts que ens donava el programa, i no el percentatge. En conseqüència, hem obtingut un estalvi energètic molt elevat, ja que el programa considera unes necessitats de consum que a la realitat no són tant exagerades. S'ha calculat així i no amb els percentatges per falta d'informació sobre l'ús dels equips d'aire condicionat. De totes maneres, simplement haguéssim obtingut en el cas de calcular-se amb el percentatge un període de retorn de la inversió encara més alt i un estalvi econòmic menor.

Analitzem els resultats en forma de gràfic per a entendre'ls més visualment.

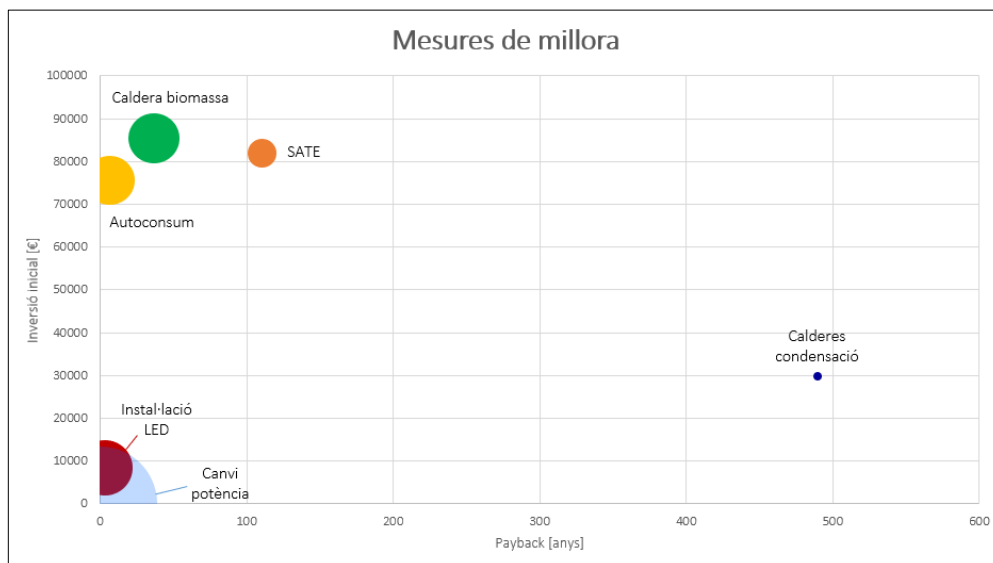


Figura 95. Gràfic mesures de millora (font pròpia).

Aquest gràfic de boles ens representa el cost de cada mesura respecte al període de retorn de la inversió. La grandària de les boles és proporcional a l'estalvi econòmic: com més gran és el diàmetre, major és l'estalvi.

Veiem que hi ha dos mesures que d'entrada ja no són rentables: el SATE i les calderes de condensació. El període de retorn de la inversió és massa elevat per a plantejar-se-les. A més a més, les dues tenen un cost considerable, especialment el SATE.

Dibuixem un altre gràfic, aquesta vegada només amb les mesures amb un retorn de la inversió menor a 40 anys.

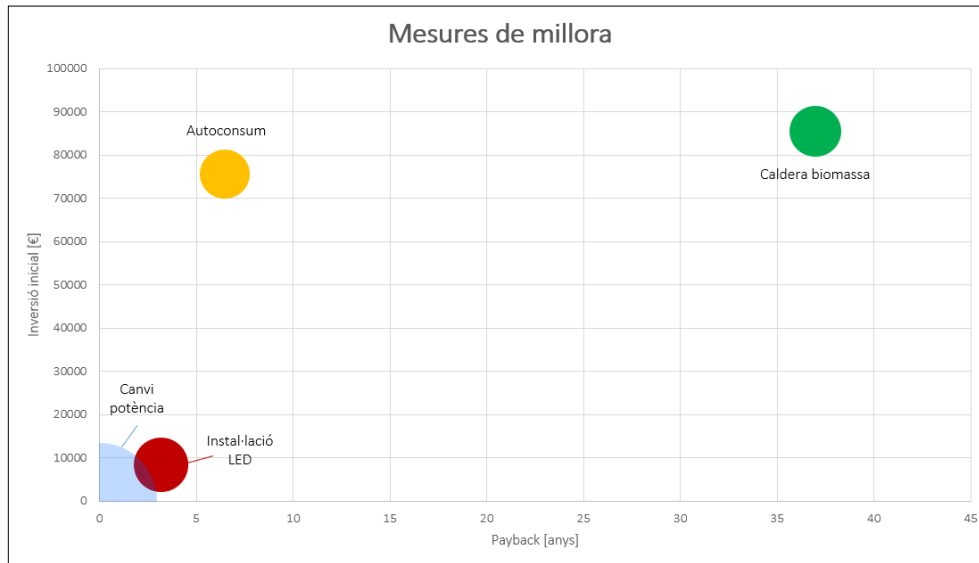


Figura 96. Nou gràfic mesures de millora (payback menor a 40 anys) (font pròpia).

Veiem que les mesures més rentables, amb una menor inversió i període de retorn d'aquesta, són canviar la potència contractada i canviar la il·luminació de l'institut per llums LED. Així doncs, aquestes dues mesures s'haurien de dur a terme sens dubte per a obtenir un estalvi econòmic ràpid.

La següent mesura a tenir en compte hauria de ser la instal·lació d'autoconsum. Tot i tenir una inversió inicial elevada, s'amortitza relativament amb poc temps, i a partir del sisè any es començarà a notar l'estalvi de més de 11.000 €/any. A més a més, si es realitza conjuntament amb una baixada del terme de potència aquest estalvi serà major.

Finalment queda la caldera de biomassa. Aquesta té un període de retorn de la inversió força elevat (37 anys) i un cost inicial molt gran. Tot i així, es millora la qualificació en emissions de l'institut fins a una A. En el cas de canviar la caldera en un futur, seria interessant plantejar-se l'opció de canviar a biomassa.

6.2 Accions futures

A banda d'aplicar les millors dels hàbits de consum de l'apartat 5.7, la primera acció a fer per part de l'institut és canviar la potència contractada, ja que aquesta és molt més elevada de la que realment es necessita. Amb el nou sistema tarifari, l'institut hauria de mantenir contractada la tarifa 3.0TD, però el gimnàs hauria de canviar a una tarifa de menor potència, la 2.0 TD. És a dir, s'ha de contactar amb la comercialitzadora i proposar canviar la potència contractada per l'edifici principal de 87 kW a 60 kW (amb la tarifa 3.0 TD). Pel que fa al gimnàs, s'hauria de canviar a la tarifa 2.0TD, i contractar 13 kW pels períodes P1 i P2, i 4 kW pel període P3. Aquest canvi es pot fer instantàniament, el mateix estiu de 2021 o a l'inici del curs 2021-2022.

El següent pas seria canviar la instal·lació d'il·luminació. En primer lloc, s'hauria de revisar que la longitud dels tubs proposats són els correctes, ja que podria ser que algun valor obtingut dels plànols no es correspongués amb la realitat. Una vegada fet això, es poden comprar els tubs a una empresa subministradora de material elèctric de Tàrraga, Electro-Tarr. Els tubs LED poden ser instal·lats pel conserge progressivament al llarg del curs 2021-2022. Si es canvien els tubs fluorescents per tubs

LED, hi ha la possibilitat de baixar encara més la potència contractada, acció que es pot realitzar estudiant els nous historials de màximes.

Pel que fa a la substitució de les làmpades de sostre del gimnàs, s'hauria de contactar un electricista per a verificar que la instal·lació es pot fer correctament i, si és així, tirar endavant amb el projecte.

L'estudi que s'ha fet de la instal·lació d'autoconsum és molt simplificat. S'hauria de fer un projecte molt més detallat, ja que alguns costos s'han estimat, no s'han utilitzat coeficients de seguretat, no s'ha analitzat com podrien afectar les ombres dels arbres del pati, les mesures obtingudes dels plànols són aproximades, no s'ha comprovat si la coberta podria aguantar estructuralment el pes de la instal·lació... És necessari realitzar un projecte. Tot i així, amb els indicadors econòmics i d'estalvi energètic obtinguts, és una mesura de millora molt recomanable.

Finalment, ens queda la caldera de biomassa, que té un cost inicial i un payback molt elevats. La recomanació és continuar utilitzant les calderes de gas actuals i, quan deixin de ser viables i s'hagi de realitzar un canvi de calderes, plantejar-se la possibilitat de canviar de gas a biomassa. Tot i que té l'inconvenient d'anar reomplint el dipòsit al llarg de l'any (3 o 4 vegades), els pellets són més barats que el gas. A més a més, la qualificació energètica en emissions de l'institut augmentaria directament a una A.

En el moment de plantejar la instal·lació d'autoconsum o la caldera de biomassa, seria interessant consultar si hi ha subvencions disponibles per part de la Generalitat, fet que reduiria el cost inicial i faria encara més rentables les millores.

7 Conclusions

Hem complert amb els objectius d'aquest treball: certificar energèticament l'edifici i proposar mesures per a millorar el seu comportament energètic.

Amb tota la informació recollida presencialment i a partir dels documents entregats per l'institut (plànols i factures) he pogut realitzar dues certificacions amb el programa CE3X. En primer lloc, una certificació simplificada i després una altra de més exhaustiva, amb detalls no considerats a la primera (patrons d'ombres, definició tancaments...). He comparat les certificacions entre elles, i també els resultats obtinguts amb els consums de les factures, per a obtenir una visió global del comportament energètic de l'institut.

El següent pas ha estat proposar millores i fer-ne un anàlisi tècnic, mediambiental, energètic, econòmic i temporal. De les sis mesures proposades inicialment n'hi ha quatre que han resultat viables econòmicament: canviar la potència contractada, substituir la il·luminació actual amb llums LED, realitzar una instal·lació d'autoconsum i canviar les calderes de gas per una sola caldera de biomassa.

D'entre aquestes mesures, les dues primeres són les que es poden realitzar immediatament. Per la instal·lació d'autoconsum s'hauria de realitzar un projecte. Pel que fa a la caldera de biomassa, es podria plantejar la possibilitat d'instal·lar-la una vegada acabada la vida útil de les calderes actuals.

Hi ha molt marge de millora en edificis existents respecte al seu comportament energètic. Tal i com s'ha demostrat en aquest treball, és possible proposar millores que són viables econòmicament i temporalment, i al mateix temps respectuoses amb el medi ambient.

8 Referències

- [1] Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. «Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España», 2020.
- [2] Institut Català d'Energia. «La certificació d'eficiència energètica d'edificis» [En línia]. Disponible a:
http://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/24_usos_energia/02_edificis/01_certificacio_eficiencia_energetica/05_informacio_basica_professional/arxiu/130506_documentexplicatiu_certificacioprofessionals_lco.pdf. [Últim accés: 27 Febrer 2021].
- [3] Servei d'Orientació de l'Edificació. «Certificació energètica», Gener 2014. [En línia]. Disponible a:
http://habitatge.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/qualitat_tecnica/materials_i_sistemes/sostenibilitat/estalvi_energetic/documentacio_certificacio_energetica.pdf. [Últim accés: 27 Febrer 2021].
- [4] M. Argüelles. «Modelo de Certificado Energético», 17 Juliol 2013. [En línia]. Disponible a:
https://es.slideshare.net/monibra/modelo-de-certificado-energetico?from_action=save. [Últim accés: 27 Febrer 2021].
- [5] Institut Català d'Energia. «Infografia sobre certificació» [En línia]. Disponible a:
http://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/24_usos_energia/02_edificis/01_certificacio_eficiencia_energetica/06_informacio_util_ciutadana/arxiu/20140415_img_etiqueta_perApartatCiutadania.pdf. [Últim accés: 26 Febrer 2021].
- [6] Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. «Certificado de eficiencia energética», 7 Octubre 2020. [En línia]. Disponible a:
<https://www.euskadi.eus/certificado-eficiencia-energetica/web01-a2indust/es/>. [Últim accés: 27 Febrer 2021].
- [7] IDAE. «Calificación energética de edificios» [En línia]. Disponible a:
<https://www.idae.es/tecnologias/eficiencia-energetica/edificacion/calificacion-energetica-de-edificios>. [Últim accés: 27 Febrer 2021].
- [8] MITECO. «Procedimientos para la certificación de edificios» [En línia]. Disponible a:
<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>. [Últim accés: 28 Febrer 2021].
- [9] Institut Català d'Energia. «Certificació energètica d'edificis. Solucions als requeriments més freqüents», 12 Juny 2020. [En línia]. Disponible a:
http://icaen.gencat.cat/web/.content/20_Energia/24_usos_energia/02_edificis/01_certificacio_eficiencia_energetica/01_tramitis_certificacio/arxiu/20200615_CEEE_SOLUCIONS_REQUERIMENTS_CAT_ACCESSIBLE.pdf. [Últim accés: 28 Febrer 2021].
- [10] IDAE. «Estado de la certificación energética de los edificios», 2019.
- [11] Institut Català d'Energia. «La certificació d'eficiència energètica d'edificis a Catalunya (juny 2020)», Juny 2020. [En línia]. Disponible a:
http://icaen.gencat.cat/web/.content/10_ICAEN/17_publicacions_informes/05_infografies/arxiu/20201222_infografiaCertificacio1rSemestre2020.pdf. [Últim accés: 2 Març 2021].
- [12] Ministerio de Hacienda. «Sede Electrónica del Catastro» [En línia]. Disponible a:
<https://www.sedecatastro.gob.es/>. [Últim accés: 6 Març 2021].
- [13] INS Manuel de Pedrolo. «Obres d'ampliació a l'institut», 2 Agost 2017. [En línia]. Disponible a:
<https://insmanueldepedrolo2.ieduca.com/obres-dampliacio-a-linstitut/>. [Últim accés: 7 Març 2021].
- [14] Colonial. «Què és l'envolupant tèrmica de l'edifici», 26 Juliol 2017. [En línia]. Disponible a:
<https://www.inmocolonial.com/ca/blog/que-es-lenvolupant-termica-de-ledifici>. [Últim accés: 28 Març 2021].

- [15] Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. «DA DB-HE / 1. Cálculo de parámetros característicos de la envolvente», Gener 2020. [En línia]. Disponible a: https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DA_DB-HE-1_Calculo_de_parametros_caracteristicos_de_la_envolvente.pdf. [Últim accés: 11 Maig 2021].
- [16] ROCA. «G100/110» [En línia]. Disponible a: <http://www.atcroc.es/resources/files/MANUAL-INSTRUCCIONES-G100-IE-XIE-INSTALADOR.pdf>. [Últim accés: 8 Maig 2021].
- [17] INS Manuel de Pedrolo. «Portes obertes 2021 (grup 2, optativa Comunicació Audiovisual)», 3 Març 2021. [En línia]. Disponible a: https://www.youtube.com/watch?v=ymktckwuI_g. [Últim accés: 8 Maig 2021].
- [18] GRUNDFOS. «UPS 25-80 N 180» [En línia]. Disponible a: <https://product-selection.grundfos.com/products/up-ups-series-100/up-ups-n/ups-25-80-n-180-95906439?tab=variant-specifications>. [Últim accés: 9 Maig 2021].
- [19] GRUNDFOS. «UPS 25-120 180» [En línia]. Disponible a: <https://product-selection.grundfos.com/products/up-ups-series-100/up-ups/ups-25-120-180-52588336?tab=variant-specifications&pumpsystemid=1312820250>. [Últim accés: 9 Maig 2021].
- [20] Som energia. «La tarifa 3.0A», 8 Febrer 2021. [En línia]. Disponible a: <https://ca.support.somenergia.coop/article/254-que-es-la-tarifa-3-0a>. [Últim accés: 3 Maig 2021].
- [21] CCMA. «Escoles i instituts tanquen i les universitats suspelen classes a Catalunya pel coronavirus», 13 Març 2020. [En línia]. Disponible a: <https://www.ccma.cat/324/tanquen-escoles-instituts-i-universitats-a-catalunya-a-partir-de-dilluns-pel-coronavirus/noticia/2996436/>. [Últim accés: 16 Abril 2021].
- [22] Agència Catalana de l'Aigua. «Tràmits gencat: Quin tipus de DUCA s'ha de presentar?», Juny 2018. [En línia]. Disponible a: http://aca.gencat.cat/web/shared/OVT/Departaments/TES/A_Agencia_catalana_de_l_aigua__TES/Documents/Canon_Aigua/GT_DUCA_tipologia_a_presentar_industrials-1.pdf. [Últim accés: 9 Març 2021].
- [23] Agència Catalana de l'Aigua. «Industrial» [En línia]. Disponible a: <http://aca.gencat.cat/ca/laca/canon-i-altres-tributs/canon-de-laigua/industrial/>. [Últim accés: 9 Març 2021].
- [24] Agència Catalana de l'Aigua. «Tipus de gravàmens vigents del cànon de l'aigua per als usos industrials i assimilables», Juny 2020. [En línia]. Disponible a: http://aca.gencat.cat/web/.content/10_ACA/K_Canon_i_altres_tributs/canon_de_laigua/20_Industrial/GT_DUCA_tipus_vigents_industrials.pdf. [Últim accés: 9 Març 2021].
- [25] Ministerio de Fomento. «Documento Básico HE», 20 Desembre 2019. [En línia]. Disponible a: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DccHE.pdf>. [Últim accés: 4 Juny 2021].
- [26] Hilayes. «Productos Lateroyeso» [En línia]. Disponible a: http://www.hilayes.es/producto_7LD.html. [Últim accés: 24 Maig 2021].
- [27] arqPROJECT. «Proyecto básico y de ejecución de intervención parcial en el centro de salud Delicias sur. Memoria constructiva» [En línia]. Disponible a: https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/6967dbba-bd10-4951-93e3-05a935b31313/Memoria+constructiva_417065.pdf?MOD=AJPERES. [Últim accés: 24 Maig 2021].
- [28] Certificados Energéticos. «Dispositivos de protección solar en certificación energética (CE3X)», 25 Juliol 2017. [En línia]. Disponible a: <https://www.certificadosenergeticos.com/dispositivos-proteccion-solar-certificacion-energetica-ce3x>. [Últim accés: 24 Maig 2021].

- [29] Ramos. Industria del vidrio. «U-GLASS» [En línia]. Disponible a: <http://www.ramosiv.es/descargas/UGLASS.pdf>. [Últim accés: 24 Maig 2021].
- [30] Certificados Energéticos. «Coeficientes de paso (RITE) de energía final a primaria y emisiones de CO2», 21 Desembre 2018. [En línia]. Disponible a: <https://www.certificadosenergeticos.com/coeficientes-de-paso-rite-energia-final-primaria-emisiones-co2>. [Últim accés: 4 Juny 2021].
- [31] Group of Construction Research and Innovation. «Greening the Built Environment. Energy audit» [En línia]. [Últim accés: 4 Juny 2021].
- [32] Servei Meteorològic de Catalunya. «Dades de l'estació automàtica Tàrraga» [En línia]. Disponible a: <https://meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=C7&dia=2020-01-01T00:00Z>. [Últim accés: 4 Juny 2021].
- [33] latiadadeelectricidad.com. «Termo eléctrico: ¿siempre enchufado o programado?», 16 Gener 2019. [En línia]. Disponible a: <https://www.latiadadeelectricidad.com/blog/termo-electrico-siempre-enchufado-o-programado/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [34] SF23 Arquitectos. «¿Cómo arreglar la fachada de tu casa con SATE en Segovia?» [En línia]. Disponible a: <https://www.sf23arquitectos.com/2020/02/sate-en-segovia.html?m=1>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [35] E. Alario. «Diferentes tipos de aislamiento térmico exterior SATE», 8 Febrer 2016. [En línia]. Disponible a: <https://enriquealario.com/diferentes-tipos-de-aislamiento-termico-exterior-sate/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [36] RTarquitectura. «Aislamiento térmico por el exterior SATE», 26 Juny 2020. [En línia]. Disponible a: <https://www.rtarquitectura.com/aislamiento-termico-por-el-exterior-sate/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [37] E. Sarachu. «¿Qué elementos componen el SATE?», 17 Novembre 2020. [En línia]. Disponible a: <https://e-ficiencia.com/que-elementos-componen-sate/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [38] IVE. «Base de precios del IVE 2020» [En línia]. Disponible a: <https://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2020/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [39] Cointra. «10 curiosidades sobre el pellet» [En línia]. Disponible a: <https://www.cointra.es/blog-10-curiosidades-pellet/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [40] GREENHEISS. «¿Cómo calcular el volumen mínimo de un silo de biomasa?», 30 Novembre 2016. [En línia]. Disponible a: <https://www.greenheiss.com/tamano-silo-biomasa/>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [41] CYPE Ingenieros. «Generador de precios de la construcción. España» [En línia]. Disponible a: <http://www.generadordeprecios.info/#gsc.tab=0>. [Últim accés: 5 Juny 2021].
- [42] CYPE Ingenieros. «Caldera para la combustión de pellets» [En línia]. Disponible a: http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=2|0_0_0_0_0|1|ICQ015|icq_015:c6_0_5_0_0_1c18_0_1c4_0_1_0_1c6_0_1_0_0_1_0_0_1c3_0_1c3_0#gsc.tab=0. [Últim accés: 6 Juny 2021].
- [43] acae. «Caldera HERZ firematic 399 T-CONTROL (alimentación derecha)» [En línia]. Disponible a: https://www.acae.es/BD/-1X172/EM/EM9/HERZ/EQCAE__HER/EQCAEC__HER2/EQCAEC__HER24/PHERH033990-015/caldera-herz-firematic-399-t-control--alimentacion-derecha-.html. [Últim accés: 7 Juny 2021].
- [44] CYPE Ingenieros. «Depósito prefabricado para almacenaje de pellets» [En línia]. Disponible a: http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=4|0_0_0_0_0|1|ICQ060|icq_060:_0_0_0_0_0_0_0_0_0_0#gsc.tab=0. [Últim accés: 6 Juny 2021].

- [45] E. Sarachu. «Precio de pellets, astilla y hueso de aceituna en 2020», 7 Desembre 2019. [En línia]. Disponible a: <https://e-eficiencia.com/precio-de-pellets-actualizado/>. [Últim accés: 7 Juny 2021].
- [46] I. Arnabat. «Calderas de condensación ¿Cómo funcionan y qué ventajas tienen?», 13 Novembre 2020. [En línia]. Disponible a: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/funcionamiento-calderas-de-condensacion.html#que-caldera-es-mejor>. [Últim accés: 7 Juny 2021].
- [47] CYPE Ingenieros. «Conjunt de calderes a gas, de condensació, de peu, de fosa d'alumini» [En línia]. Disponible a: http://www.generadordepreus.info/obra_nova/calculaprecio.asp?Valor=3|0_0_0_0_0_0|ICG242|icc_242:_0_0_1c12_0_1c3_0_1c3_0_1c5_0_2c16_0. [Últim accés: 7 Juny 2021].
- [48] Vaillant. «Instrucciones de instalación y mantenimiento ecoCRAFT exclusiv» [En línia]. Disponible a: <https://www.vaillant.es/downloads/nuevos/ecocraftexclusiv-2012-201405-0020149547-01-mi-258416.pdf>. [Últim accés: 7 Juny 2021].
- [49] IDAE. «Guia Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes», Març 2001. [En línia]. Disponible a: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Guia_tecnica_de_eficiencia_energetica_en_iluminacion_en_centros_docentes_318319ea.pdf. [Últim accés: 8 Juny 2021].
- [50] PHILIPS. Iluminación. Tarifa 2021/22. Distribución profesional, 2021.
- [51] IGAN. «¿Qué color de luz LED es mejor?», 13 Març 2018. [En línia]. Disponible a: <http://www.igan-iluminacion.com/blog/que-color-de-luz-led-es-mejor/>. [Últim accés: 8 Juny 2021].
- [52] GEWISS. «GWF1000MM840» [En línia]. Disponible a: <https://www.gewiss.com/ww/es/products/experience-catalogue/catalogs/series/product/lighting/elia-hl---highbay-led/GWF1000MM840>. [Últim accés: 13 Juny 2021].
- [53] Tarifasgasluz. «Normativa sobre placas solares: compensación y trámites», 19 Abril 2021. [En línia]. Disponible a: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/normativa>. [Últim accés: 11 Juny 2021].
- [54] endef. «Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas: ¿Cómo encontrar mi instalación ideal?» [En línia]. Disponible a: <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/>. [Últim accés: 11 Juny 2021].
- [55] EnergiaFV. «¿Cómo funciona la energía solar fotovoltaica?», 8 Octubre 2018. [En línia]. Disponible a: <https://www.energiafv.com/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica/>. [Últim accés: 15 Juny 2021].
- [56] Solar Center. «Criterios de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red», 22 Novembre 2019. [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=BGQRs1COPtU>. [Últim accés: 2021 Juny 12].
- [57] Viquipèdia. «Hora solar pic», 24 Maig 2021. [En línia]. Disponible a: https://ca.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pic. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [58] European Commission. «Photovoltaic Geographical Information System» [En línia]. Disponible a: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/?lat=&lon=&startyear=&endyear=&raddatabase=&angle=&browser=&outputformat=&userhorizon=&usehorizon=1&js=1&select_database_month=PVGIS-SARAH&mstartyear=2005&mendyear=2005&horirrad=1&optrrad=1&selectrad=1&mangle=45#MR. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [59] J. A. Sánchez Allica. «¿Qué es la hora solar pico? (HSP)», 11 Maig 2021. [En línia]. Disponible a: <https://www.educadictos.com/que-es-la-hora-solar-pico-hsp/>. [Últim accés: 14 Juny 2021].

- [60] AutoSolar. «Panel Ja Solar 380W Monocristalino Perc» [En línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/paneles-de-conexion-a-red/panel-ja-solar-380w-monocristalino-perc>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [61] AutoSolar. «Diferencias entre Silicio Monocristalino y Multicristalino o Policristalino», 7 Juny 2017. [En línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [62] DATEANDTIME.INFO. «Coordenadas geográficas de Tàrraga, España» [En línia]. Disponible a: <https://dateandtime.info/es/citycoordinates.php?id=3108285>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [63] Ministerio de fomento. «Sección HE5. Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica» [En línia]. Disponible a: https://www.coit.es/system/files/link_group/he_5_contribucion_fotovoltaica_minima_de_energia_electrica_77f479a7.pdf. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [64] AutoSolar. «Inversor Huawei SUN2000-100KTL-M1 Trifásico 100kW» [En línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-huawei-sun2000-100ktl-m1-trifasico-100kw>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [65] AutoSolar. «Estructura Cubierta Metálica 8 paneles» [En línia]. Disponible a: <https://autosolar.es/estructuras-cubierta-metalica/estructura-cubierta-metalica-8-paneles>. [Últim accés: 11 Juny 2021].
- [66] PVGreenCard. «Interesting Facts and Figures» [En línia]. Disponible a: <https://www.pvgreencard.co.za/rooftop-solar-pv/interesting-facts-and-figures/>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [67] Alicia Carrasco. «La compensación por excedentes de autoconsumo y la venta de energía a la red», 29 Maig 2021. [En línia]. Disponible a: <https://www.otovo.es/blog/autoconsumo/compensacion-excedentes-autoconsumo/>. [Últim accés: 12 Juny 2021].
- [68] Som energia. «Horaris dels períodes de la tarifa 3.0A», 27 Octubre 2020. [En línia]. Disponible a: <https://ca.support.somenergia.coop/article/255-quins-horaris-tenen-els-periodes-de-la-tarifa-3-0a>. [Últim accés: 21 Febrer 2021].
- [69] Gestión servicios. «Tarifa 3.0TD: La nueva tarifa eléctrica para empresas», 28 Abril 2021. [En línia]. Disponible a: <https://gestionservicios.com/tarifa-3-0td-la-nueva-tarifa-electrica-para-empresas/>. [Últim accés: 5 Maig 2021].
- [70] C. Calbet. «El canvi de factura per a contractes d'empreses (de més de 15 kW)», 10 Febrer 2021. [En línia]. Disponible a: <https://blog.somenergia.coop/tarifas-electricidad-y-sector-electrico/2021/02/el-canvi-de-factura-per-a-contractes-dempreses-de-mes-de-15-kw/>. [Últim accés: 4 Maig 2021].
- [71] C. Calbet. «El canvi de factura per a contractes domèstics i petites empreses», 10 Febrer 2021. [En línia]. Disponible a: <https://blog.somenergia.coop/tarifas-electricidad-y-sector-electrico/2021/02/el-canvi-de-la-factura-per-a-contractes-domesticos-i-petites-empresas/>. [Últim accés: 5 Maig 2021].
- [72] Gestión servicios. «Publicados los cargos del sistema eléctrico y pagos por capacidad para 2021», 28 Abril 2021. [En línia]. Disponible a: <https://gestionservicios.com/cargos-sistema-electrico-pagos-capacidad-2021/>. [Últim accés: 5 Maig 2021].