



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

TREBALL FINAL DE GRAU EN ENGINYERIA EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS

**PROJECTE DE MILLORA DE LES
INSTAL·LACIONS DE PURIFICACIÓ
D'AIGUA EN INDÚSTRIA DEDICADA A LA
FABRICACIÓ D'IMPLANTS DENTALS**

AUTORA: ELENA TOLEDO ROMERO

TUTOR: ARNAU BAYÓN BARRACHINA

Curs Acadèmic: 2020-21

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer en especial el apoyo incondicional durante todo este tiempo a mi pareja, Sergio, y a sus padres Xaro i Ximo, por el esfuerzo y por tratarme como a un miembro más de la familia.

También a mis padres, hermano y resto de familia, por haberme educado en la humildad y empujarme a ser una persona autónoma y luchadora.

A todos mis amigos, por todas las veces que no pude quedar con ellos por compaginar estudios y trabajo.

Finalmente, a todos aquellos profesores y tutores en empresa que han hecho posible mi formación académica y este trabajo final de grado, destacando a mi compañero en Zimmer Biomet, Juan Miguel y a mi tutor de TFG, Arnau Bayón.

RESUMEN

El proyecto en el que se basa el trabajo de fin de grado se lleva a cabo durante la realización de prácticas en la empresa Zimmer Biomet. Sus instalaciones se encuentran en el polígono industrial Fuente del Jarro perteneciente a la localidad de Paterna (Valencia).

Dicha empresa se dedica a la fabricación, venta y distribución de dispositivos médicos. En concreto, en las instalaciones en las cuales se trabajará, predomina la producción de implantes dentales. En el proceso de producción de estos implantes es necesario utilizar agua purificada, para asegurar que el producto queda totalmente limpio y libre de agentes microbianos y patógenos, que podrían dar lugar a infecciones y otros problemas quirúrgicos.

Para ello, en sus instalaciones cuenta con una planta de pretratamiento de agua como paso previo a la realización de un proceso de osmosis inversa des-ionizada (RO/DI), que consiguen que la purificación buscada cumpla con la normativa impuesta por la Farmacopea Europea. En ellas se realizaron mejoras que permitieron conseguir los siguientes objetivos: Reducción del consumo de agua, reducción de contrapresiones que dañan ciertos elementos y automatización de procesos.

Estos tres objetivos se conseguirán mediante la instalación de:

- Un medidor de dureza en línea, que permitirá mejorar la precisión de dicha medida de control de la planta de pretratamiento, ya que se tomaba manualmente por los operarios de mantenimiento con un margen de error elevado, y como se explicará, es una de las mayores causas del malgasto de agua.
- Dosificación automática de bicarbonato, para reducir la conductividad del agua de entrada al equipo de osmosis evitando daños y valores de agua fuera de especificaciones. Este dosificador permitirá eliminar un bypass manual activado por los operarios de mantenimiento.
- Válvulas de llenado de tanques controladas por PID que permitirán automatizar con software el proceso en los cambios de turno, reduciendo así contrapresiones y liberando a los operarios encargados de realizar esta tarea de manera remota.

Palabras Clave: Ósmosis inversa desionizada; agua pura; ingeniería biomédica; automatización.

RESUM

El projecte en el qual es basarà el treball de fi de grau es du a terme durant la realització de pràctiques en l'empresa Zimmer Biomet. Les seues instal·lacions es situen al polígon industrial Font del Gerro pertanyent a la localitat de Paterna (València).

Aquesta empresa es dedica a la fabricació, venda i distribució de dispositius mèdics. En concret, en les instal·lacions en les quals es treballarà, predomina la producció d'implants dentals. En el procés de producció d'aquests implants és necessari utilitzar aigua purificada, per a assegurar que el producte queda totalment net i lliure d'agents microbians i patògens, que podrien donar lloc a infeccions i altres problemes quirúrgics.

Per a això, a les instal·lacions es compta amb una planta de pretractament d'aigua com a pas previ a la realització d'un procés d'osmosi inversa desionitzada (RODI), que aconseguixen que la purificació buscada complisca amb la normativa imposada per la Farmacopea Europea. En elles es realitzaren millores que permeteren aconseguir els següents objectius: Reducció del consum d'aigua, reducció de contrapressions que danyen certs elements i automatització de processos.

Aquests tres objectius s'aconseguiran mitjançant la instal·lació de:

- Un mesurador de duresa en línia, que permetrà millorar la precisió de dita mesura de control a la planta de pretractament, ja que es prenia manualment pels operaris de manteniment amb un marge d'error elevat, i com s'explicarà, és una de les majors causes de malbaratament d'aigua.
- Dosatge automàtic de bicarbonat, per a reduir la conductivitat de l'aigua d'entrada a l'equip d'osmosi evitant danys i valors d'aigua fora d'especificacions. Aquest dosificador permetrà eliminar un bypass manual activat pels operaris de manteniment.
- Vàlvules d'ompliment de tancs controlades per PID que permetran automatitzar amb software el procés als canvis de torn, reduint així contrapressions i alliberant als operaris encarregats de realitzar aquesta tasca de manera remota.

Paraules clau: Òsmosi inversa desionitzada; aigua pura; enginyeria biomèdica; automatització.

ABSTRACT

The project on which the final degree project is based is carried out during the internship at the company Zimmer Biomet. Its facilities are located in the industrial park Fuente del Jarro belonging to the town of Paterna (Valencia).

This company is dedicated to the manufacture, sale and distribution of medical devices. Specifically, in the facilities in which we will be working, the production of dental implants predominates. In the production process of these implants it is necessary to use purified water to ensure that the product is completely clean and free of microbial and pathogenic agents, which could lead to infections and other surgical problems.

To this end, the company's facilities have a water pre-treatment plant as a preliminary step to the de-ionized reverse osmosis (RO/DI) process, which ensures that the purification required complies with the regulations imposed by the European Pharmacopoeia. Improvements were made to achieve the following objectives: reduction of water consumption, reduction of back pressures that damage certain elements and process automation.

These three objectives will be achieved through the installation of:

- An in-line hardness meter, which will improve the accuracy of this control measurement of the pre-treatment plant, since it was taken manually by maintenance workers with a high margin of error, and as will be explained, it is one of the major causes of water wastage.
- Automatic dosing of bicarbonate, to reduce the conductivity of the inlet water to the osmosis equipment avoiding damages and water values out of specifications. This dosing system will eliminate a manual bypass activated by maintenance operators.
- PID-controlled tank filling valves that will allow software automation of the process during shift changes, thus reducing backpressure and freeing the operators in charge of performing this task remotely.

Keywords: Deionized reverse osmosis; pure water; biomedical engineering; automation.

ÍNDIX

MEMÒRIA

| | |
|--|----|
| 1. Introducció..... | 9 |
| 1.1. Origen del projecte | 9 |
| 1.2. Objectius..... | 9 |
| 1.3. Entorn de treball..... | 10 |
| 1.3.1. L'empresa | 10 |
| 1.4 Definició d'Aigua Purificada | 12 |
| 2. Materials i mètodes..... | 14 |
| 2.1 Mètode de mesura dels paràmetres de control | 14 |
| 2.1.1 Normativa aplicable | 14 |
| 2.1.2 Mesura de paràmetres de control de les propietats de l'aigua | 14 |
| 2.1.3 Mesura de paràmetres de control del procés..... | 20 |
| 2.2 Descripció de les instal·lacions de producció d'aigua RO/DI..... | 22 |
| 2.2.1 Planta de Pretractament..... | 22 |
| 2.2.2 Equip d'Electro-desionització (Osmoline) | 29 |
| 2.3 Sistema de control remot del procés d'electro-desionització de l'aigua | 34 |
| 3. Anàlisi de resultats..... | 36 |
| 3.1 Detecció de problemes..... | 36 |
| 3.1.1 Possibles problemes associats a la planta de pretractament | 36 |
| 3.1.2 Possibles problemes associats a l'equip d'electro-desionització (Osmoline)..... | 41 |
| 3.2 Anàlisi de causes arrel | 43 |
| 3.2.1 Indicadors d'error | 43 |
| 3.2.2 Seguiment dels indicadors | 45 |
| 3.3 Propostes de millora als mètodes actuals | 46 |
| 3.3.1 Automatització de la mesura de duresa | 46 |
| 3.3.2 Automatització dosificació de bicarbonat..... | 47 |
| 3.3.3 Automatització compliment de dipòsits d'aigua osmotitzada desionitzada (RO/DI).... | 48 |
| 3.4 Validació de les millores | 50 |
| 3.4.1 Monitorització dels resultats | 50 |

| | |
|--|----|
| 3.4.2 Comparació amb els resultats abans de la implantació de les millores | 51 |
| 4. Conclusions..... | 53 |
| 5. Bibliografia..... | 58 |

PRESSUPOST

| | |
|---|----|
| 1. Introducció Pressupost..... | 61 |
| 1.1. Descripció Pressupost | 62 |
| 1.1.1. Descripció capítols i unitats d'obra | 62 |
| 1.1.2. Càlcul costs material..... | 62 |
| 2. Pressupost | 64 |
| 2.1. Quadres de preus | 64 |
| 2.2. Pressupost General | 68 |

MEMÒRIA

1. Introducció

1.1. Origen del projecte

Aquest treball té el seu origen al marc de les pràctiques extra curriculars realitzades a l'empresa Zimmer Biomet, dedicada a la fabricació de dispositius mèdics, i en aquest cas concret, d'implants dentals.

Per fabricar aquest tipus de producte, es bàsic i essencial l'ús d'aigua purificada per tal d'aconseguir l'esterilització adequada que evite la proliferació de bacteries i altres agents patògens que podrien afectar la salut dels pacients generant infeccions o altres problemes quirúrgics. Per això la producció d'aigua purificada ha de complir amb els estàndards de qualitat exigits per l'empresa, basats en diferents normatives, principalment basades en la Farmacopea Europea (v.9.0 - 008, 2016).

Durant el transcurs de dites pràctiques, realitzades al departament d'instal·lacions pertanyent a l'àrea d'enginyeria, es va participar de manera activa a distints projectes, entre els quals es troba el projecte objectiu d'aquest treball: La millora de les instal·lacions d'aigua purificada.

La necessitat d'aquesta millora sorgeix a la vegada de dos camins:

Per una part, l'empresa busca una millora continua basada en l'estil japonès anomenat "Hoshin Kanri", un model de treball que busca augmentar la productivitat amb les propostes i la participació de tots els seus empleats, per tal de generar projectes a curt i llarg termini. En aquest cas concret, després d'una pluja d'idees (brain storming), es va tractar de buscar diferents maneres de reduir la petjada de carboni o empremta ecològica, que no és més que un indicador mediambiental en busca de la major sostenibilitat possible.

D'ací va sorgir la necessitat de tractar de reduir el consum d'aigua, i les instal·lacions de generació d'aigua pura eren el principal focus de malbaratament d'aquest bé.

Per altra part, es va detectar una sèrie de problemes i averies recurrents a aquestes instal·lacions, que van dur a aplicar els coneixements adquirits per a la resolució de problemes amb el mètode anomenat "Six Sigma" molt emprat al Lean manufacturing, i que es basa en definir, mesurar, analitzar, millorar i controlar el problema detectat.

1.2. Objectius

L'objectiu d'aquest treball és millorar les instal·lacions d'aigua purificada, per a això es important entendre com funcionaven dites instal·lacions amb anterioritat, quines eren les seues deficiències i d'on es pot traure un major rendiment.

La situació era la següent: Instal·lacions amb tecnologies de control que amb el pas del temps van quedant obsoletes. Gran part dels paràmetres eren controlats visualment pels operaris, i anotats manualment en rutines diàries basades en reomplir fulls de dades de tipus "check" que posteriorment, després de ser revisats pel enginyer responsable, eren arxivats en paper.

Aquest tipus de controls, donaven lloc a molts errors, doncs depenent de l'operari que realitzara la mesura es podia interpretar d'una manera o d'altra, sent un procés de control més bé subjectiu. A més també es podien donar errors de transcripcions de dades.

Per tant, la millora s'aconseguirà gràcies a la monitorització en continu dels seus paràmetres més rellevants i mitjançant l'automatització de certes etapes del procés productiu. Açò ens permet conèixer els valors de control quasi al instant de manera objectiva, crear una alarma cada vegada que un paràmetre té un valor fora d'especificacions, podent així inclús parar la producció abans de sofrir danys majors. I no sols s'aconsegueix actualitzar i modernitzar el control de les instal·lacions, sinó que gràcies a això es podrà estalviar aigua i solucionar problemes que ocorrien de manera recurrent, que són els requisits de millora continua pels quals va sorgir aquest projecte.

A més, els valors poden ser emmagatzemats a bases de dades informatitzades per a posteriorment ser analitzats per l'enginyer amb més detall, realitzar gràfics comparatius o inclús tindre a mà documentació estandarditzada quan una auditoria així ho requerisca.

En futurs apartats es descriurà el funcionament i parts d'aquestes instal·lacions, per tal de comprendre millor els objectius, que principalment són tres:

El primer, és reduir el consum d'aigua, per a això s'abordarà majoritàriament un dels equips, el que té un consum més elevat, les columnes descalcificadores. Aquest objectiu es tractarà de complir per mitjà de la mesura en línia del paràmetre de duresa de l'aigua, en funció del qual s'automatitzarà el canvi entre columnes de treball a la planta de pretractament.

El segon, és evitar contrapressions que danyen l'equip d'electro-desionització, que són provocades pels tancaments bruscos de les vàlvules d'ompliment dels dipòsits. Aquestes vàlvules són del tipus tot o res i han de ser accionades pels operaris, per tant, es pretén automatitzar l'ompliment dels diferents tancs d'aigua ja tractada i dirigida als seus llaços de distribució, mitjançant la instal·lació de vàlvules controlades per PID amb apertura gradual.

Per últim, el tercer objectiu és controlar el paràmetre de conductivitat de l'aigua del mòdul d'electro-desionització mitjançant el dosatge automàtic de bicarbonat. Aquesta millora permetrà evitar els canvis i averies recurrents de les membranes de dit mòdul, provocades per valors de conductivitat que no permeten la seua completa regeneració.

1.3. Entorn de treball

1.3.1. L'empresa

1.3.1.1. Activitat i Ubicació

Zimmer Biomet va ser fundada en 1927 a Varsòvia, Indiana, on té la seua seu principal. La seua activitat es basa en la innovació, disseny, fabricació i comercialització de productes i dispositius mèdics per tractar trastorns o lesions als ossos, articulacions o teixits blans de suport:



Figura 1. Tipus de productes fabricats per l'empresa Zimmer Biomet (<https://www.zimmerbiomet.eu/medical-professionals.htm>,2021)

Actualment opera a més de 25 països arreu del món, concretament a Espanya té presencia a Barcelona i a València.

En aquest cas el projecte es du a terme a la planta de València ubicada a la localitat de Paterna al polígon industrial Font del Jerro, antigament anomenada Industrias Quirúrgicas de Levante S.L., que després de ser comprada per Zimmer Biomet es dedica quasi en exclusiva a la fabricació d'implants dentals.

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

1.3.1.2. Organigrama i Procés productiu

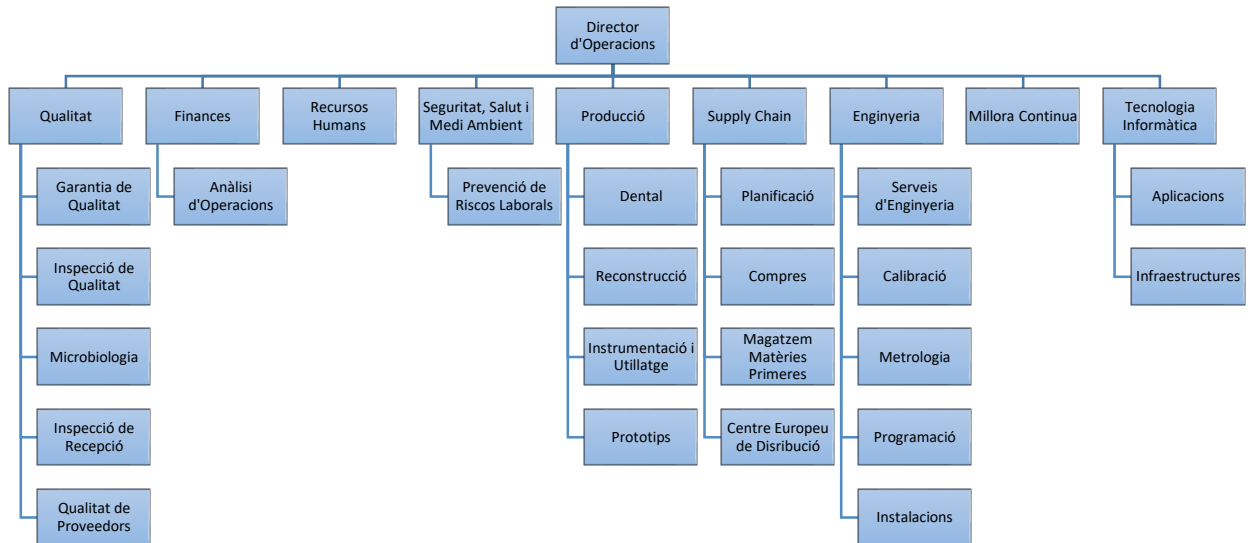


Figura 2. Organigrama de l'empresa Zimmer Biomet. (Elaboració pròpia, 2021).

El procés productiu dels implants dentals es pot explicar ràpidament de forma senzilla amb l'ajuda de l'organigrama mostrat a la Figura 2.

El primer pas es la compra i la recepció de la matèria primera, normalment barres d'aliatges de metalls bio-compatibles com el titani, on intervenen els departaments de cadena de subministrament (supply chain) i qualitat.

Tot seguit, es passa a transformar aquestes barres amb torns controlats numèricament (CNC), on obtenen la forma desitjada segons els plànols de disseny, d'aquesta part s'encarrega el departament de producció.

Finalment es passa a tractar el producte, per tal de que sigui estèril sense cap tipus de microorganismes ni patògens que puguin generar infeccions o qualsevol tipus de problema als pacients, com s'ha explicat abans.

En aquest punt és essencial el departament d'instal·lacions, i té un paper molt important el projecte objecte d'aquest treball, doncs és l'encarregat de les instal·lacions d'aigua purificada que intervenen en el procés de neteja i envasat del producte final.

La resta de departaments i processos no son rellevants al marc d'aquest treball.

1.4 Definició d'Aigua Purificada

En funció de l'ús que se li vaja a donar a l'aigua, aquesta tindrà uns requeriments químics i biològics distints. Aquests requeriments son recollits a diferents documents normatius, com les

farmacopees, que determinen els possibles mètodes d'obtenció i els assajos a realitzar en aquestes.

Existeixen diverses classificacions per a l'aigua segons el grau de tractament i la normativa aplicable:

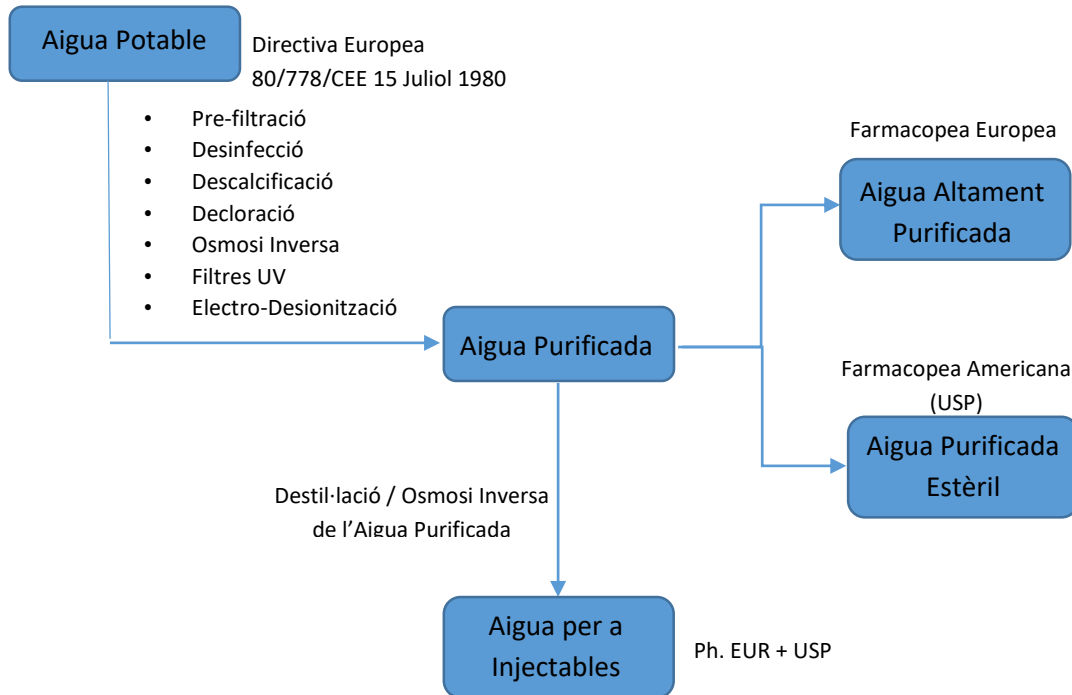


Figura 3. Classificació aigua segons tractament i normativa aplicable. (Elaboració pròpia, basat en Quadre 1. Farmespaña Industrial, Novembre/Desembre 07)

L'aigua purificada és aquella que s'empra per a la preparació de productes medicinals que precisen d'aigua d'alta qualitat biològica. S'obté a partir d'aigua potable, mitjançant osmosi inversa en dues etapes combinada amb altres processos com l'ultra-filtració i l'electro-desionització (Farmespaña Industrial, Novembre/Desembre 07).

2. Materials i mètodes

2.1 Mètode de mesura dels paràmetres de control

2.1.1 Normativa aplicable

L'aigua purificada és una matèria primera essencial per a la producció d'implants dentals. Amb freqüència es requereixen grans quantitats d'aquesta i s'obté directament al lloc on va a ser utilitzada a partir de l'aigua potable disponible.

La Farmacopea Europea (Ph.Eur.), la Farmacopea dels Estats Units (USP) i la Farmacopea Xinesa (CP) estableixen límits clars per a la qualitat de l'aigua en el punt de consum. Defineixen clarament els valors màxims per a la càrrega microbiològica en unitats formadores de colònies, la conductivitat, i la quantitat de carboni orgànic total de l'aigua purificada.

| Paràmetre | USP | Ph. Eur. | CP |
|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| TOC (ppm C) | ≤ 0,50 | ≤ 0,50 | ≤ 0,50 |
| Conductivitat (μS/cm) | ≤ 1,3 (25°C) | ≤ 4,3 (20°C) | ≤ 4,3 (20°C) |
| Nitrats (ppm) | - | ≤ 0,2 | ≤ 0,000006 % |
| Metalls Pesants (ppm Pb) | - | ≤ 0,1 | ≤ 0,00001 % |
| Bacteris Aerobis (UFC/ml) | ≤ 100 | ≤ 100 | ≤ 100 |

Taula 1. Valors límit d'alguns paràmetres de l'aigua purificada segons diferents normatives. (Elaboració pròpia, basat en <https://www.bwt-pharma.com/es/agua-purificada/?Country=ES>, 2021)

De vegades les pròpies empreses estableixen requisits encara més estrictes en les seues normatives per als generadors d'aigua purificada amb la finalitat de garantir que la producció d'aquesta supere els valors líndars. Açò garanteix que hi haja un marge suficient ampli entre el sistema de generació d'aigua purificada i el punt de consum, per a establir els límits d'alarma i acció, que permeten evitar incidents debuts a valors fora d'especificacions.

2.1.2 Mesura de paràmetres de control de les propietats de l'aigua

2.1.2.1 Temperatura

La temperatura és una magnitud física que expressa el grau o nivell de calor dels cossos o de l'ambient, segons la RAE. La seua unitat de mesura en el sistema internacional és el grau Kelvin, però com es usual, a les instal·lacions objecte d'estudi, es mesurarà (amb un termòmetre) en graus centígrads.

Per a les instal·lacions d'aigua purificada aquest paràmetre és molt influent per diverses raons: La primera, és que segons a la temperatura a la que es troba l'aigua es pot propiciar la proliferació de certs microorganismes. Altra raó, és la relació d'aquest paràmetre amb la resta, per exemple, pot ser un limitant en quant a la velocitat de circulació de l'aigua, ja que a major velocitat, major temperatura.

En aquest sentit, és un paràmetre que s'ha de tenir en compte al disseny de la instal·lació, doncs un dels processos de manteniment consisteix a realitzar neteges o sanititzacions periòdiques a elevades temperatures amb productes químics basats en peròxids i àcid acètic, per tant, no qualsevol material és capaç de suportar-les.

Aquest és el motiu pel que les parts crítiques estan construïdes amb acer inoxidable. No obstant, en punts del procés de producció d'implants on es necessita simplement aigua potable per tal de rentar el producte, per exemple, de les grasses emprades als torns CNC, es construeixen amb PVC per abaratir costos.

Per últim, cal indicar que la temperatura també té notorietat als llaços de distribució de l'aigua purificada, una vegada ja produïda. Es compta amb tres llaços de distribució, als quals a cadascun d'ells l'aigua purificada ha d'estar a una temperatura concreta, segons l'ús pel qual vaja a ser emprada. Els tres llaços s'anomenen: calent, ambient i ossi. El nom dels dos primers, va lligat directament amb la temperatura d'aquests, el primer té una temperatura mitja de 60°C, mentre que al segon la temperatura mitjana es d'uns 20°C. El tercer i últim, ossi, té una temperatura mitjana de 25°C i el seu nom en aquest cas, fa referència al tipus de producte final al que es destina l'aigua d'aquest tanc.

2.1.2.2 PH

El PH és un coeficient que indica el grau d'acidesa o basicitat d'una solució aquosa, segons Oxford Languages. Considerant aquest coeficient com a neutre quan el seu valor és 7. Si és major, es considera una solució bàsica o alcalina, i si és menor, àcida, com es mostra a la figura:

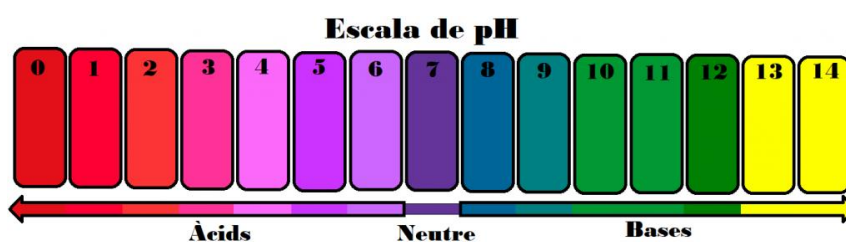


Figura 4. Escala de pH (<https://www.repteexperimenta.cat/2020/larc-de-sant-marti-experimentem-amb-el-ph/>, 2021)

En el cas de les instal·lacions de producció d'aigua purificada en estudi, el PH es mesura a la planta de pretractament just abans de realitzar l'osmosi. És un paràmetre molt important per la seua relació directa amb la sílice (veure 2.1.2.8).

Amb el control del pH es pot ajustar la concentració de la sílice dissolta y optimitzar l'efecte de l'agent antiincrustant. Per a això es compta amb dos dosificadors automàtics un d'antiincrustant i altre d'hidròxid de sodi (Anti-scaling Dosing i Base Dosing, veure figura a 2.2.1.1),

L'equip de dosificació d'antiincrustant i el d'hidròxid de sodi, estan compostats cadascun per: un comptador d'impulsos, una bomba dosificadora electrònica amb accessoris de succió i impulsió amb purga d'aire (model DP-2.10 INEX) i un dipòsit d'emmagatzematge, el primer amb antiincrustant i el segon amb hidròxid de sodi, ambdós de 100 litres amb sonda de nivell (model Cillit 139 UNI).

2.1.2.3 Conductivitat

La conductivitat, també anomenada conductància específica, d'una substància és la capacitat que té aquesta per conduir o transmetre electricitat, calor o so.

A les instal·lacions d'aigua el que es mesura serà la conductivitat elèctrica, que depèn dels electròlits (sals dissociades en dissoldre's), ja que és un paràmetre de vital importància per al procés d'electro-desionització.

La seua unitat en el sistema internacional són els siemens per metre (S/m), encara que per a aigües purificades, per magnitud es considera més apropiat mesurar en micro-siemens per centímetre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

| Tabla de conductividad del Agua | |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Agua ultra pura | 0,055 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Agua destilada | 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Agua de montaña | 1,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Agua doméstica | 500 a 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ |
| Max. Para agua potable | 1055 mS/cm |
| Agua de mar | 56 mS/cm |
| Agua salobre | 100 mS/cm |

Figura 5. Taula conductivitat de l'aigua (<http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>,2021)

La conductivitat presenta una relació directa amb la temperatura. S'estima que per cada grau centígrad que puja la temperatura, la conductivitat puja en un 2%.

Normalment la conductivitat es mesura a la eixida dels processos de tractament d'aigua per quantificar la seua efectivitat. A les instal·lacions en estudi es prenen varies mesures de la conductivitat:

A la eixida del procés d'osmosi a la fi de la planta de pretractament, es troba instal·lat un sensor de conductivitat (model Bürkert type 8220) connectat a una electrovàlvula i s'exigeix un valor màxim de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ per a la seua apertura, en cas contrari es considera un valor fora d'especificacions i haurà de romandre tancada, per no subministrar aigua de inferior qualitat a la necessària per a l'entrada de l'equip d'electro-desionització.

Després es torna a mesurar la conductivitat a l'eixida de l'equip d'electro-desionització, per confirmar que l'aigua obtinguda pot ser qualificada com a pura, tenint un valor inferior a 0,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tal i com exigeix la Pharmacopea Europea.

2.1.2.4 CO₂

El CO₂, diòxid de carboni, és el quart gas amb més presència a l'atmosfera. Es tracta d'un gas inert, inodor e incolor, que no és inflamable i és més pesat que l'aire. Principalment s'obté com a subproducte de les reaccions de combustió.

A més, és un gas soluble en aigua, produint àcid carbònic (H₂CO₃) quan es dissol en aquesta. Com a conseqüència d'aquesta acidificació, es dona una reducció del pH de l'aigua. Tant és així,

que el CO₂ s'emptra en alguns processos industrials precisament amb la finalitat de aconseguir aquest efecte.

En el cas de les instal·lacions que ens ocupen, no s'emptra el CO₂ per controlar els nivells de pH, es mesura simplement per que es troba de forma natural a l'aigua com a conseqüència del cicle del carboni:

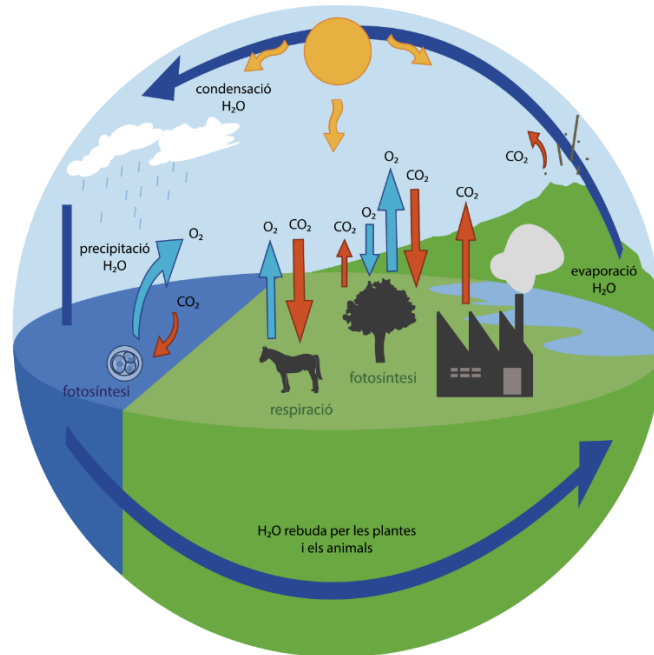


Figura 6. Cicle de l'oxigen (https://ca.wikipedia.org/wiki/Cicle_de_l'oxigen, 2021).

Aquest fet pot suposar un problema, ja que en una concentració major a 20 ppm a l'entrada de l'equip d'electro-desionització, pot precipitar, i és aquesta la raó per la qual a aquest equip es compta amb un desgasificador.

La concentració de CO₂ a l'aigua, depèn de l'estació de l'any i de la temperatura de l'aigua.

2.1.2.5 Índex de densitat de sediments (SDI)

L'índex de densitat de sediments o SDI (de l'anglès "Silt Density Index"), és un paràmetre que permet quantificar la qualitat de l'aigua d'entrada a la planta de pretractament en funció de la quantitat de sòlids en suspensió. A major SDI, menor qualitat de l'aigua.

El SDI també aporta informació al respecte de si les tecnologies de tractament de l'aigua com filtres, descalcificadors, osmosi, etc. són efectius. Per tant, permet la detecció de la necessitat de netejar o canviar els filtres quan aquests es comencen a colmar.

La classificació de la qualitat de l'aigua en funció del valor del SDI és la següent:

| Valor SDI | Qualitat de l'Aigua |
|-----------|---------------------|
| 0-1 | Excel·lent |
| 1-3 | Bona |
| 3-5 | Possible Colmatació |
| >5 | Inacceptable |

Taula 2. Qualitat de l'aigua en funció de l'índex de densitat de sediments (Elaboració pròpia, 2021).

2.1.2.6 Duresa

La duresa de l'aigua és la concentració de compostos minerals, com les sals de magnesi i calci, que hi ha a una determinada quantitat d'aigua, considerant-se dura quan hi ha una gran concentració d'aquests i blana en cas contrari. Aquest paràmetre varia molt en funció de la geografia.

La unitat de mesura de la duresa més utilitzada són els graus hidromètrics francesos (°HF). Quan les aigües són dures, es sol detectar visualment gràcies a la formació d'incrustacions calcàries, comunament conegudes com la calç.

La classificació de l'aigua en funció de la seua duresa és la següent:

| Valor Duresa | Classificació de l'Aigua |
|--------------|--------------------------|
| 0-7 | Molt Blana |
| 7-14 | Blana |
| 14-32 | Duresa Intermèdia |
| 32-54 | Dura |
| >54 | Molt Dura |

Taula 3. Classificació de l'aigua segons el seu valor de duresa (Elaboració pròpia basada en: <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>, 2021).

Per tal d'adaptar la duresa a l'adequada per al procés de producció d'aigua purificada, és necessari utilitzar descalcificadors de resines catióniques.

Aquest paràmetre és un dels més importants per al projecte, ja que l'objectiu de reduir el consum d'aigua depèn en gran part de l'estat de les columnes descalcificadores.

Amb anterioritat a la detecció d'aquesta necessitat de millora, la duresa era mesurada pels operaris manualment. Dita mesura consistia a agafar dues mostres d'aigua a distints punts de la planta de pretractament, concretament, a l'entrada i a l'eixida de les columnes descalcificadores, per comprovar la seua efectivitat, afegint a aquestes un reactiu amb colorant en forma de gotes, de manera que, per cada gota, es comptava un grau francès.

Dit procediment de mesura, com s'explicarà a l'apartat 3.1.1.2, donava lloc a errors freqüents, i per tant, és un dels punts fortament candidats a rebre una millora.

2.1.2.7 Clorurs

Els clorurs son compostos de clor i altre element químic diferent de l'oxigen, s'obtenen per acció del clor o de l'àcid clorhídric amb un metall o el seu hidròxid.

Aquests clorurs es troben a l'aigua d'entrada de la xarxa ja que la cloració és un mètode molt estès de desinfecció. De fet, per a una desinfecció primària, a la planta de pretractament es compta amb un dispositiu de dosificació automàtica d'hipoclorit de sodi, per ajustar la quantitat de clorurs en cas de ser necessari (veure figura a 2.2.1.1).

Després de realitzar aquesta desinfecció primària, és convenient reduir la quantitat de clorurs presents a l'aigua abans de que aquesta passe per l'equip d'osmosi, ja que podria danyar les seues membranes. Per a aconseguir-ho es compta amb un declorador que funciona amb filtres de carbó actiu vegetal.

La concentració de clorurs en aigua es mesura manualment pels operaris de manteniment.

2.1.2.8 Sílice

La sílice és el nom convencional del compost químic SiO_2 en estat sòlid. Aquest es pot mostrar en la seua forma cristal·lina (ordenada) o amorfa (no ordenada). En quant a la seua forma cristal·lina, segons com es distribueix a l'espai, dona lloc a quars, cristobalita o tridimita. El quars, pot ser beneficiós ja que degut a la seua baixa solubilitat (1.2 mg/l) reté partícules suspeses en forma col·loidal, realitzant una acció filtrant.

Malgrat els beneficis del quars, la sílice en les seues altres formes pot ser un problema per a la qualitat de l'aigua dissolent-se o quedant en suspensió, açò depèn en gran part del valor del pH en funció del valor de l'àcid silícic (H_4SiO_4).

A major valor de pH s'obté major quantitat de sílice dissolt, com es pot observar al següent gràfic:

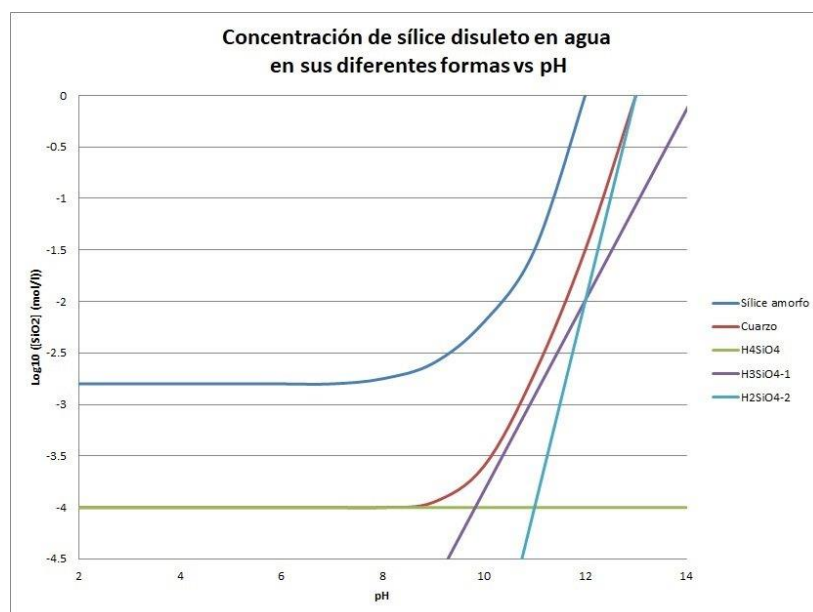


Figura 7. Concentració dels distints tipus de sílice dissolt en aigua en funció del pH (<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-el-silice-y-como-afecta-en-el-agua/>, 2021).

Per tal d'eliminar la sílice, s'ha de dur a terme un procediment d'osmosi inversa utilitzant resines aniòniques.

A l'empresa on es realitza el projecte, els valors de sílice presents en l'aigua varien en funció del dia, ja que al polígon industrial on es troba ubicada, els caps de setmana es subministra aigua procedent de pou de la Font del Gerro, que conté molta major quantitat d'aquest element front a l'aigua d'entrada entre setmana que prové d'una xarxa de distribució diferent.

2.1.3 Mesura de paràmetres de control del procés

2.1.3.1 Pressió

La pressió és una magnitud física que expressa la força exercida per un cos sobre la unitat de superfície i la unitat de la qual en el sistema internacional és el Pascal (Pa). (RAE)

Normalment, als processos industrials on s'ha de mesurar la pressió d'un fluid o gas que recorre un circuit tancat, es mesura en bars ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$), amb aparells denominats manòmetres. Un manòmetre, com el seu propi nom indica, mesura pressió manomètrica o relativa, que és la diferència entre pressió absoluta i pressió atmosfèrica.

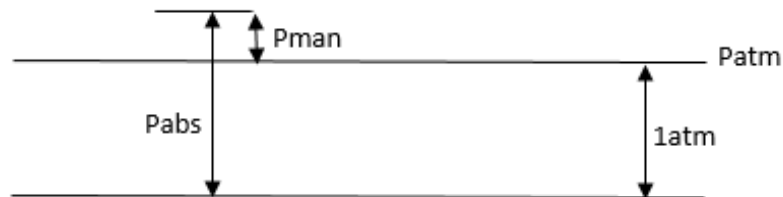


Figura 8. Representació de les distintes formes de mesurar la pressió (Elaboració pròpia, 2021).

2.1.3.2 Cabal

El cabal és el volum de fluid que travessa una secció durant una unitat de temps. La seua unitat en el sistema internacional són els metres cúbics per segon (m^3/s), encara que també és molt comú treballar en litres per segon (l/s) o litres per hora (l/h). (Apunts assignatura Mecànica de Fluids).

El cabal es mesura amb un cabalímetre a diferents punts de les instal·lacions.

2.1.3.3 Redox

La paraula Redox fa referència a les reaccions d'oxidació-reducció, que són aquelles en les que es transfereixen electrons. La espècie que perd els electrons s'oxida i la que els guanya es redueix. Generalment, les reaccions redox tenen lloc a dissolucions pel que les substàncies es comporten com electròlits. (Universitat de Jaén, document docència bases químiques, 2013).

Realment el que mesurem a l'aigua és el potencial redox (ORP). La unitat de mesura que millor s'ajusta a la seua magnitud són els mili-volts (mV). Aquest paràmetre, permet conèixer com d'efectiu ha sigut el sanejament de l'aigua potable.

Aquest paràmetre, és anàleg al pH, ja que el pH mesura l'activitat de protons, mentre que el potencial redox mesura l'activitat d'electrons.

2.1.3.4 Carboni Orgànic Total (TOC)

Es denomina Carboni Orgànic Total, al carbó que forma part de les substàncies orgàniques de les aigües superficials. Existeixen moltes substàncies que contribueixen a incrementar els nivells de TOC, no obstant, aquestes poden ser descompostes per certs microorganismes durant el procés de consum d'oxigen. És un paràmetre que permet valorar la qualitat de les aigües.

Normalment, es pot calcular directament la quantitat de TOC a partir de mostres d'aigua que es manen al laboratori on mesuren la quantitat de diòxid de carboni que s'allibera després d'un tractament amb oxidants químics.

El TOC a concentracions elevades genera una disminució molt important de l'oxigen dissolt a l'aigua, tenint com a conseqüència la perduda de biodiversitat.

2.1.3.5 Unitats Formadores de Colònies (UFC)

Les unitats formadores de colònies (UFC) són el nombre mínim de cèl·lules separables sobre la superfície o dins d'un mitjà d'agar semi-sòlid que dona lloc al desenvolupament d'una colònia visible de l'ordre de desenes de milions de cèl·lules descendents. Les UFC poden ser pars, cadenes o raïms, així com cèl·lules individuals.

Són un indicador del grau de contaminació microbiològica d'un ambient. Expressen el nombre relatiu de microorganismes d'un tàxon determinat a un volum de metre cúbic d'aigua.

Normalment, es mesuren per mil·lilitre en UFC/ml, observant-les durant un determinat període de temps, per tal de veure com de ràpidament es reproduïxen i el perill que açò pot significar o no per a l'aigua purificada.

2.1.3.6 Endotoxines

Les endotoxines, també anomenades lipopolisacàrids (LPS), són toxines microbianes que formen part de la paret cel·lular de les bacteries gram negatives, com la salmonel·la, E-coli i pseudomonas, que poden provocar certes infeccions.

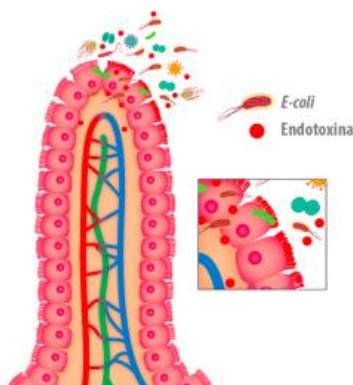


Figura 9. Representació gràfica de les Endotoxines. (<https://nutricionanimal.info/las-micotoxinas-y-las-endotoxinas-tienen-una-accion-conjunta/>, 2021).

Per tal de mesurar les endotoxines bacterianes presents a l'aigua es realitza l'anomenat assaig "LAL" (*limulus ameobocyte lysate*). El seu nom té procedència del lisat de cèl·lules sanguínies procedents d'un tipus de carranc americà.

2.2 Descripció de les instal·lacions de producció d'aigua RO/DI

2.2.1 Planta de Pretractament

2.2.1.1 Estructura de funcionament

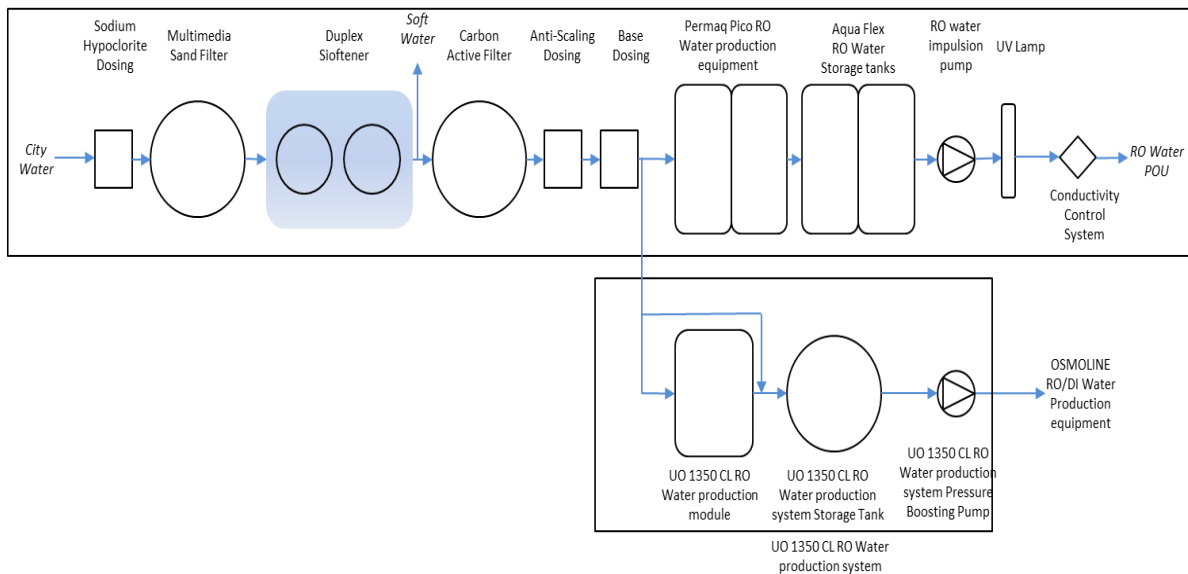


Figura 10. Esquema de funcionament de la planta de pretractament (Elaboració pròpia, 2019).

2.2.1.2 Filtre tri-capa

El filtre tri-capa, o també anomenat filtre d'arena multimèdia (Multimedia Sand Filter), és un conjunt de filtres amb els quals s'obté un alt rendiment de retenció de les partícules en suspensió.

Aquest filtre, com el seu nom indica, consta de tres parts o capes:

- Una columna de fibra de vidre amb una cobertura interna.
- Una capa catalítica activa (Model BWT 2000 Plus)
- Una capa filtrant (Model BWT AGF 4000)

El seu material estructural està fabricat amb varies capes de sílex de alta puresa i amb una mida de gra controlada. A més, compta amb un programa automàtic de rentat, que en quan els filtres comencen a saturar-se, canvia el sentit de circulació de l'aigua d'aquests realitzant un rentat de manteniment.

També compta amb vàlvules neumàtiques i elèctriques per tal de controlar el grup hidràulic, que s'automatitza mitjançant el panell electrònic amb el que compta amb el qual es gestionen les seqüències de filtrat i aclarit.



Figura 11. Filtre tri-capa instal·lat a la planta de pretractament (Imatge pròpia, 2021).

El principi de funcionament en el que es basa és el següent:

Normalment, els filtres són col·locats en capes per tal de filtrar diferents grandàries de sòlids i generen una caiguda de pressió en el filtre. A la primera etapa són retinguts els grans de major mida, després a una fase intermèdia es redueix la grandària del mitjà filtrant per a retenir partícules més xicotetes i, finalment, la última capa és de grava i sosté el mitjà filtrant distribuïnt l'aigua per una tovera. L'aigua ja filtrada, ix a través d'un col·lector que reté el mitjà filtrant, evitant que aquest es mescle amb el flux d'aigua d'eixida.

Aquest tipus de filtres multimèdia, també anomenats filtres de llit profund, compten amb un pas molt important en el seu funcionament, la neteja del llit, açò es realitza amb un retro-llavat que, com s'ha explicat abans, consisteix a invertir el sentit del flux per tal d'expandir el llit filtrant i expulsar els sediments retinguts durant el seu ús habitual. Aquest procediment de neteja, requereix un cabal d'aigua 3 vegades superior al d'operació, el que suposa que de vegades aquests equips han de comptar amb una bomba addicional per a la correcta realització d'aquest pas.



Figura 12. Principi de funcionament del filtre tri-capa. (https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-industriales-de-agua-tipos-y-aplicaciones/#Filtros_industriales_de_lecho_profundo, 2021).

2.2.1.3 Columnes descalcificadores

Les columnes descalcificadores s'utilitzen per reduir la duresa de l'aigua mitjançant intercanvi iònic amb les resines. Dites resines són catióniques i retenen el calci i el magnesi, la seua vida útil és d'aproximadament 3 anys.

Aquest equip està compost per:

- Dos columnes amb resines adequades per ablanir l'aigua (model BA 2 x 650 PILOT).
- Dos tancs per a la solució salina (salmorra) necessària per a la regeneració de l'equip.
- Comptador d'impulsos.
- Vàlvules neumàtiques externes per tancar l'alimentació de l'aigua durant la regeneració.
- Un distribuïdor hidràulic.
- Dos vàlvules de capçalera i dos dispositius de control per gestionar la seqüència de regeneració. La seqüència de regeneració habitual és: aspiració, llavat lent i llavat ràpid.

S'ha de tenir molt en compte el valor del clor a la entrada, ja que un clor amb un valor de concentració superior a 0,5 ppm podria degradar les membranes, reduint la seua efectivitat i la seua vida útil. Aquest fet té una gran importància, ja que quan més degradades estiguin les membranes, més regeneracions hi ha que realitzar, i per tant, major consum d'aigua.



Figura 13. Columnes descalcificadores instal·lades a la planta de pretractament (Imatge pròpia, 2021).

2.2.1.4 Filtre de carbó actiu

L'objectiu d'aquest filtre és eliminar els compostos orgànics i clorats. A l'igual que la resta de filtres, compta amb un rentat internament programant.

El filtre de carbó actiu està compostat per:

- Una columna de fibra de vidre amb recobriment intern.
- Una capa de carbó actiu per a la eliminació del clor lliure i la adsorció de compostos orgànics i clorats.
- Vàlvules neumàtiques i elèctriques per controlar el grup hidràulic automàtic.
- Panell electrònic per a la gestió de les seqüències de filtrat i aclarit.
- Equip de mesura del potencial REDOX per assegurar la total eliminació del clor.

El seu material estructural està fabricat amb varies capes de sílex de alta puresa i amb una mida de gra controlada.

El principal avantatge de l'ús del filtre de carbó actiu és que al eliminar el clor de l'aigua, protegeix les membranes de l'equip d'osmosi, evitant la seua degradació.

El punt feble d'aquest equip és que és susceptible de contaminar-se microbiològicament, just per haver eliminat el clor, per això és molt important seguir estrictament els temps de manteniment: mínim un contra-llavat setmanal i canvi anual del carbó actiu vegetal.

Com que aquest és l'últim pas abans de l'osmosi inversa, a l'eixida del filtre de carbó actiu es mesura els paràmetres de potencial redox i el pH per veure com d'efectiu ha sigut el sanejament de l'aigua. En els requisits interns de l'empresa s'estableix que el valor del pH ha d'estar a aquest punt entre 8 i 9,5.



Figura 14. Filtre de carbó actiu instal·lat a la planta de pretractament (Imatge pròpia, 2021).



Figura 15. Panell de control i mesura del potencial REDOX (Imatge pròpia, 2021).

2.2.1.5 Equip d'Osmosi Inversa i Tancs d'emmagatzematge d'aigua osmotitzada.

L'osmosi inversa és un procés en el qual es redueix el cabal a través d'una membrana semipermeable i s'exerceix una força d'empenta superior a la pressió osmòtica en direcció oposada al procés d'osmosi habitual. D'aquesta forma s'aconsegueix separar les substàncies que es troben a l'aigua a un costat de la membrana (concentrat) i per l'altre s'obté una solució diluïda baixa en sòlids dissolts (permeat).

El sistema de producció i distribució d'aigua osmotitzada està format per dos equips d'osmosi inversa independents que estan connectats per un sistema hidràulic que evita zones mortes on podrien créixer bacteries. Aquest sistema dual es basa en una osmosi inversa (RO) de doble etapa, on el permeat de la primera etapa és l'alimentació de la segona etapa.

Cadascun d'aquests equips independents (model BWT Permaq Pico Duo 80 on 60 off), està format per:

- Equip d'osmosi inversa (RO#1) Permaq Pico 80 on: Comosat per 4 membranes RO que treballen processant aigua al mateix temps en paral·lel.
- Equip d'osmosi inversa (RO#2) Permaq Pico 60 off: Comosat per 3 membranes RO que treballen processant aigua al mateix temps en paral·lel.

Després aquesta aigua osmotitzada passa a l'equip d'emmagatzematge i distribució (model BWT Aqua Flex 30 2x 320 L). Aquest equip està dissenyat com una estació de reforç amb un tanc d'emmagatzematge i un tanc de compensació de la pressió.

L'equip d'emmagatzematge i distribució RO està comosat per:

- Dos tancs d'emmagatzematge d'aigua RO de 320 litres cadascun, on un funciona com a mestre i l'altre com a esclau.
- Bomba de distribució.

- Unitat de control per a la gestió de la distribució.



Figura 16. Equip de producció i emmagatzematge d'aigua RO instal·lat a la planta de pretractament (Imatge pròpia, 2021).

2.2.1.6 Llum UV

Aquest dispositiu està dissenyat per a la desinfecció ultraviolada (UV) de l'aigua osmotitzada produïda abans de que aquesta es subministre a l'equip de generació d'aigua electro-desionitzada (RO/DI).

L'equip (model BWT BEWADES 80W / 80 / 11EU) compta amb un emissor intern que produeix una radiació UV de 254 nm de longitud d'ona amb un alt grau d'eficiència. En aquestes condicions, l'aigua s'esterilitza. També compta amb una sonda de radiació UV que verifica el correcte funcionament de l'equip.

El principi de funcionament de les llums UV es basa en destruir el ADN dels microorganismes, mitjançant rajos ultraviolats, matant fins al 99,99% d'aquests quan s'exposen a la llum UV.

Aquesta tecnologia tan sols mata microorganismes, no elimina cap altre tipus d'impureses, a més, per tal de ser efectiu l'aigua ha de ser pretractada ja que qualsevol partícula sòlida pot bloquejar els rajos UV.

Pel fet de que mata als microorganismes, és un equip que està molt relacionat amb els valors del paràmetre de carboni orgànic total (TOC).



Figura 17. Llum UV instal·lat a la planta de pretractament (Imatge pròpia, 2021).

2.2.1.7 Sistema de control de conductivitat

Aquest sistema està compost per un sensor de conductivitat, model "Bürkert Tipo 8220" connectat a una electrovàlvula "model Bürkert Tipo 0142". El sensor mesura permanentment la conductivitat de l'aigua després dels tancs d'emmagatzematge d'aigua osmotitzada (Aquaflex) i, depenent del valor mesurat, l'electrovàlvula roman oberta o tancada.

Segons les especificacions de Zimmer Biomet, el punt d'ajust màxim per a que aquesta electrovàlvula passe a estar oberta, s'establirà en 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 18. Sensor de conductivitat, model "Bürkert Tipo 8220" (<https://www.burkert.es/es/type/8220>, 2021).



Figura 19. electrovàlvula "model Bürkert Tipo 0142" (<https://www.burkert.es/es/type/0142>, 2021).

2.2.1.8 UOCL

La UOCL no es més que altre sistema de producció i distribució d'aigua osmotitzada per osmosi inversa, en el que l'objectiu principal és baixar la conductivitat de l'aigua per a un ús industrial específic. El seu cabal d'operació es de 1600-1800 l/h.

Aquest sistema consisteix a:

- Mòdul de producció d'aigua RO (model BWT UO 1350 CL) compost per:
 - Una caixa de control (model BWT PCR UO 3001).
 - Un filtre de 5 μm per a retenir qualsevol partícula potencial.
 - Una bomba de reforç (model CRN3-21-A-P-G-V-HQQV, tipo A9651608P31734), per impulsar l'aigua a través de les membranes.
 - Un mòdul de 4 membranes d'osmosi inversa (model BWT Permaq 1 4040).
 - Un sistema de canonades de PVC-U per a connectar els diferents dispositius.

- Tanc d'emmagatzematge d'aigua RO (model CPTCDL + J 500 L) compostat per:
 - Un transmissor de pressió per a fins de detecció de nivell.
 - Un filtre de ventilació per a mantenir el tanc en condicions de pressió atmosfèrica.
 - Un filtre de absorció de CO2 per evitar que aquest gas entre al tanc.

A l'eixida d'aquest equip s'ha de mesurar la conductivitat que segons els requeriments interns de l'empresa, ha de estar contingut entre 200-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 20. UOCL, Equip d'osmosi inversa (Imatge pròpia, 2021).

2.2.2 Equip d'Electro-desionització (Osmoline)

2.2.2.1 Dosificació de bicarbonat

La dosificació de bicarbonat es realitza per controlar el paràmetre de conductivitat a l'entrada de l'equip d'electro-desionització. A major concentració de bicarbonat sòdic, s'aconsegueix una major conductivitat elèctrica (CE) de l'aigua, com es mostra al següent gràfic:

CE de disoluciones de bicarbonato sódico de concentración creciente

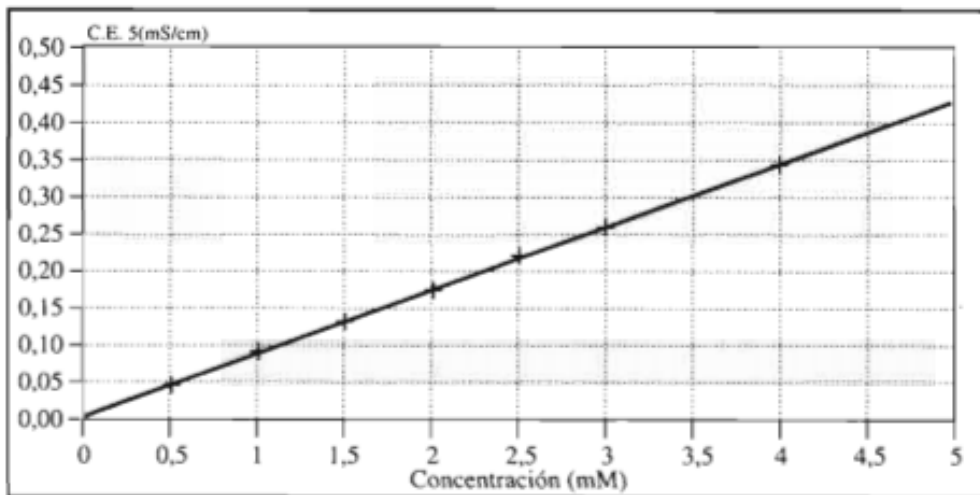


Figura 21. Relació entre la concentració de bicarbonat i la conductivitat elèctrica (https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1998_130_50_53.pdf, 2021).

Dita dosificació, es realitza manualment pels operaris, diluint el bicarbonat en aigua i introduint aquesta dissolució mitjançant una sonda amb una vàlvula de bypass.

2.2.2.2 Osmoline

Osmoline és el nom comercial que rep l'equip d'electro-desionització instal·lat a l'empresa.

L'electro-desionització (EDI) és la combinació de l'electrodiàlisi amb l'intercanvi iònic. La seua funció és eliminar ions de l'aigua amb una combinació de resines d'intercanvi iònic tant catòniques com aniòniques, membranes ió-selectives, un ànode, un càtode i la aplicació cíclica d'un potencial elèctric.

En combinació amb l'osmosi inversa, la EDI com a etapa final permet obtenir aigua desionitzada amb una concentració de sals molt menor, substituint els productes químics per corrent elèctric.

El principi de funcionament és el següent:

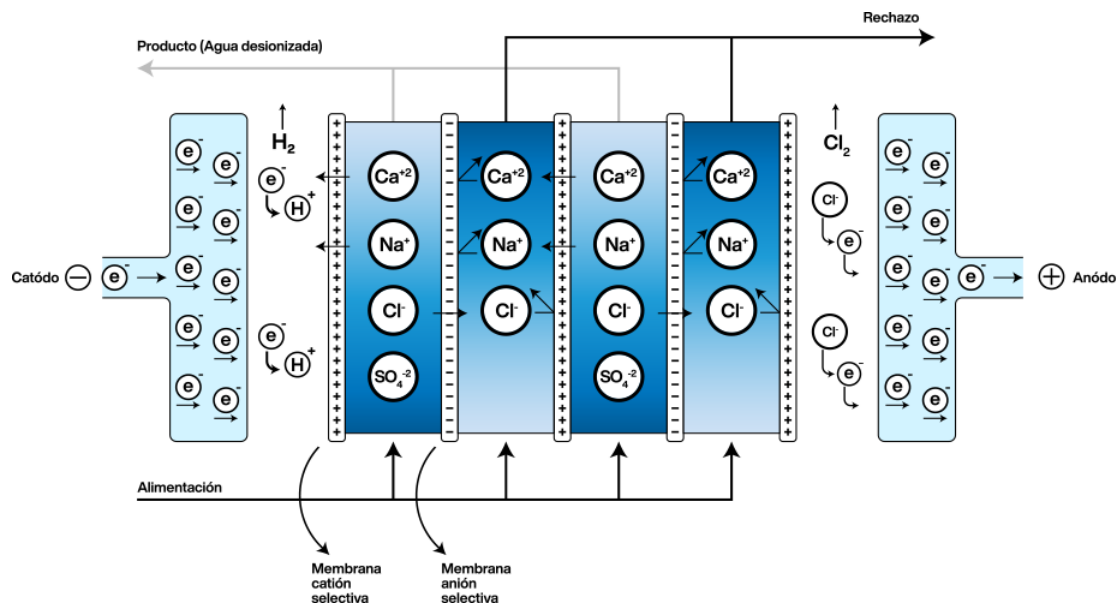


Figura 22. Principi de funcionament de la electró-desionització
(<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/electrodeionizacion-edi/que-es-la-electrodeionizacion/>, 2021).

L'equip està construït principalment amb acer inoxidable, i tots els seus materials disposen de certificat per part de la FDA (Food And Drug Administration, Normativa dels Estats Units). Les seues soldadures són orbitals, és a dir, la seua rugositat ha de ser inferior a 0'5 µm. A més, aquest material és capaç de suportar temperatures elevades, ja que les sanititzacions es realitzen amb aigua calenta, a aproximadament 130 °C.

A part del mòdul EDI, l'Osmoline compta amb un des-gasificador que elimina el CO₂ de l'aigua, ja que un valor de CO₂ a l'entrada del mòdul superior a 20 ppm pot causar problemes de precipitació interna. Aquest des-gasificador treballa amb un cabal d'aire constant a 10Nm³/h.

La seua forma d'operació en la planta de producció d'aigua pura de Zimmer Biomet és la següent:

- El permeat de l'osmosi inversa entra al mòdul d'electro-desionització model "SEPTRON EDI" que consisteix en dues càmeres separades per membranes especialitzades ió-selectives.
- La càmera d'aigua pura, compta amb unes resines d'intercanvi iònic també especialitzades. Segons el permeat passa per la càmera d'aigua pura, quasi tots els ions residuals són eliminats.
- Una vegada l'aigua de permeat ix de la càmera d'aigua pura, pren el nom de concentrat, i aquesta és distribuïda per a alimentar als diferents tancs d'emmagatzematge. El concentrat s'obté mitjançant l'aplicació d'un camp elèctric constant, que dissolen els ions fent-los migrar.
- Dita migració d'ions entre un ànode i un catòde és restringida per les membranes d'intercanvi iònic, de manera que la corrent elèctrica aplicada directament, dissocia l'aigua en ions d'hidrogen i ions d'hidròxid, que són els responsables de la permanent regeneració del mòdul "SEPTRON EDI".

- La conductivitat de l'aigua està contínuament monitoritzada per actuar si excedeix el seu valor d'operació. És el paràmetre amb el que comprovem l'efectivitat de l'electrodesionització.



Figura 23. Equip Osmoline (<https://www.bwt-pharma.com/es/productos/agua-purificada/osmoline/>, 2021).

2.2.2.3 Dipòsits d'emmagatzematge d'aigua osmotitzada desionitzada (RO/DI)

Una vegada l'aigua ja ha sigut purificada i ja és apta per a l'ús industrial de Zimmer Biomet, es passa al seu emmagatzematge i distribució.

Per al seu emmagatzematge es compta amb tres dipòsits de diferents mides, ja que cadascun d'ells subministra un volum d'aigua diferent en funció de l'ús per al que va a ser destinat. En aquest sentit, també és important destacar, que cada dipòsit és l'encarregat de mantenir l'aigua a la temperatura de procés requerida.

El dipòsit 1 és l'encarregat de subministrar aigua al llaç de distribució 1, que es el que transporta aigua a temperatura calenta (50-70°C), per això aquest és l'únic dels dipòsits que compta amb un intercanviador de calor (caldera):



Figura 24. Caldera del dipòsit/ llaç de distribució 1 (Imatge pròpia, 2021).

El dipòsit 2, se encarrega d'alimentar el llaç de distribució 2 que subministra aigua a temperatura ambient (25°C):



Figura 25. Tanc de distribució 2 (Imatge pròpia, 2021).

Finalment, el dipòsit 3 subministra aigua pura al llaç de distribució 3, i encara que la seua temperatura és la mateixa que el d'ambient (25°C) s'emmagatzema en un dipòsit diferent, ja que aquesta aigua es reserva per a un procés de producció concret, per això moltes vegades també se li anomena Osseotite.

2.2.2.4 Llaços de distribució

El sistema de distribució de l'aigua purificada compta amb 3 llaços diferents en funció de la temperatura d'aquesta com s'ha indicat al apartat anterior.

Per tal de distribuir-la als diferents punts d'ús compta amb bombes amb variador que s'ajusten a les consignes del cabal de retorn establides. La pressió mínima al retorn ha de ser de 1 bar.

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

El control de temperatura dels llaços es realitza mitjançant intercanviadors, i a més d'aquest paràmetre, també s'ha de controlar a cada llaç el TOC i la conductivitat.

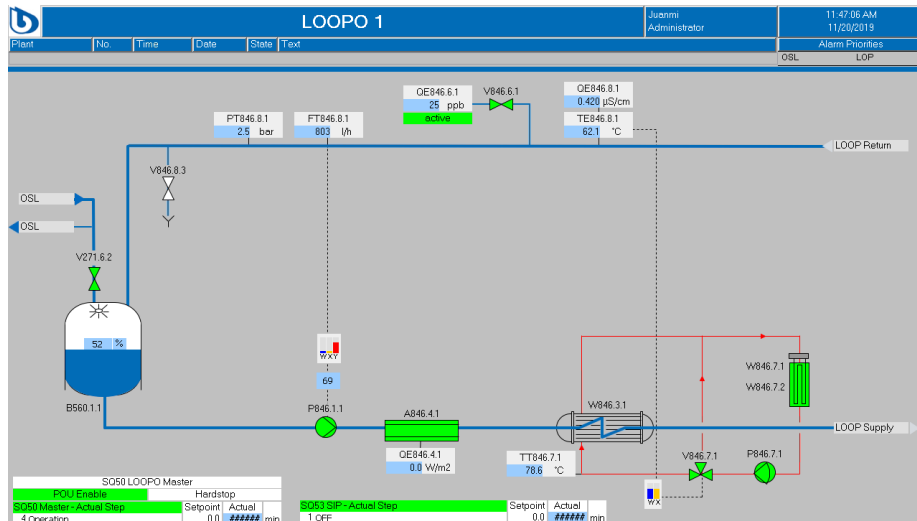


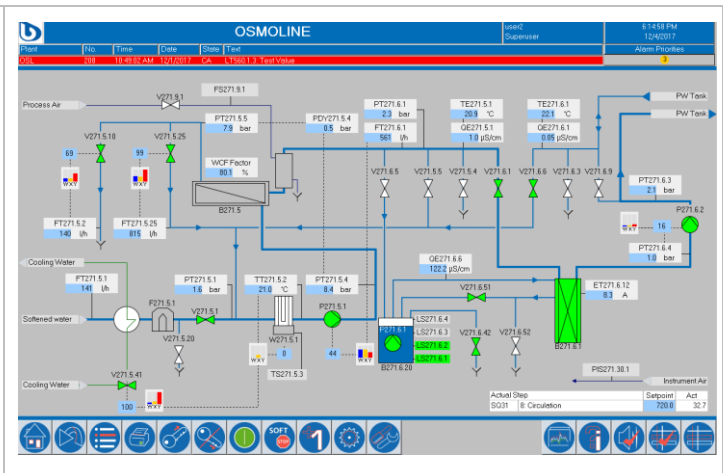
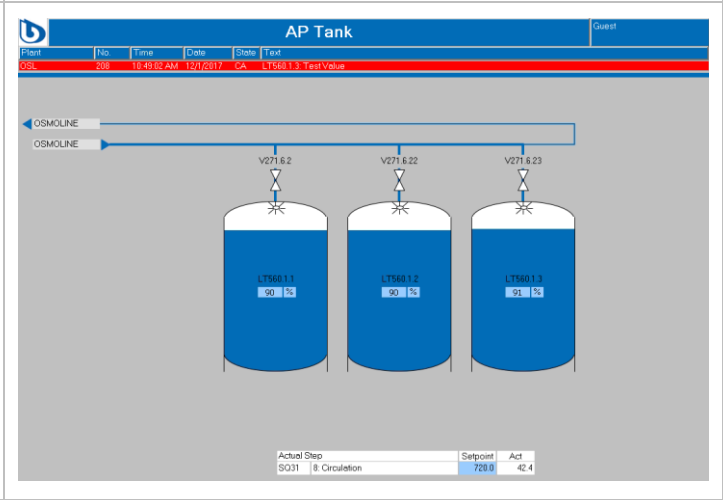

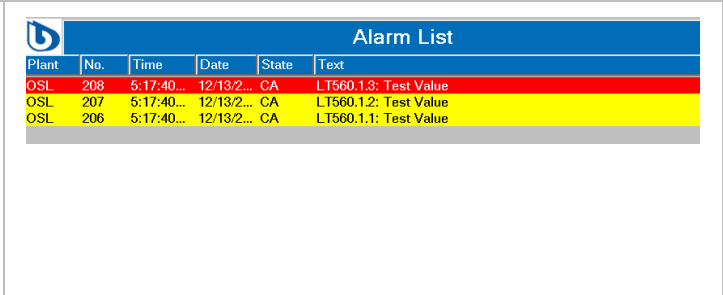
Figura 26. Esquema llaç de distribució "loopo" 1 (imatge pròpia, adquirida de software Aquaview, 2021).

2.3 Sistema de control remot del procés d'electro-desionització de l'aigua

L'equip d'electro-desionització (Osmoline) compta amb un sistema de control remot, el funcionament del qual va a ser descrit com a objectiu principal d'aquest punt.

| PAS | REALITZACIÓ | COMENTARIS VISUALS |
|------------------------------------|---|--------------------|
| 1. Iniciar sessió | Introduir la contrasenya del "panel_user". | |
| 2. Accedir a la pantalla principal | Pulsar el botó de "casa" i després el botó "osmoline". Açò sols ens permetrà veure el esquema de la instal·lació i els valors instantanis, però no podrem canviar cap paràmetre. | |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| <p>3. Iniciar sessió com a controlador</p> | <p>Pulsar el botó “clau” i introduir la contrasenya que ens demanarà.</p> |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--|------------|-------|-----------------------|------|-------|------|-----|-----|------------|------------|----|-----------------------|-----|-----|------------|------------|----|-----------------------|-----|-----|------------|------------|----|-----------------------|
| <p>4. Visualització de tancs</p> | <p>Pulsar els botons “PW Tank”</p> |  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>5. Anàlisi de alarmes</p> | <p>Per a accedir al registre d'alarmes actives s'ha de pulsar el botó: </p> |  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Plant</th> <th>No.</th> <th>Time</th> <th>Date</th> <th>State</th> <th>Text</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>OSL</td> <td>208</td> <td>5:17:40...</td> <td>12/13/2...</td> <td>CA</td> <td>LT560.1.3: Test Value</td> </tr> <tr> <td>OSL</td> <td>207</td> <td>5:17:40...</td> <td>12/13/2...</td> <td>CA</td> <td>LT560.1.2: Test Value</td> </tr> <tr> <td>OSL</td> <td>206</td> <td>5:17:40...</td> <td>12/13/2...</td> <td>CA</td> <td>LT560.1.1: Test Value</td> </tr> </tbody> </table> | Plant | No. | Time | Date | State | Text | OSL | 208 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.3: Test Value | OSL | 207 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.2: Test Value | OSL | 206 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.1: Test Value |
| Plant | No. | Time | Date | State | Text | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OSL | 208 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.3: Test Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OSL | 207 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.2: Test Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OSL | 206 | 5:17:40... | 12/13/2... | CA | LT560.1.1: Test Value | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3. Anàlisi de resultats

3.1 Detecció de problemes

3.1.1 Possibles problemes associats a la planta de pretractament

3.1.1.1 Filtre tri-capa

Els problemes que poden ser detectats al filtre tri-capa són:

- Rebliment dels filtres: Ocorre quan els filtres es saturen, normalment es soluciona amb els rentats, però amb el desgast, perden la seua capacitat de neteja, i pot ser que no realitzen la seua funció de filtrat correctament, i deixen passar certes partícules sòlides d'una mida major a la que s'espera, de manera que podria danyar les columnes descalcificadores al següent pas.
- Programació de rentat errònia: Una mala programació dels rentats en quant a la freqüència en la que es realitzen aquests, pot ser perjudicial. En el cas de realitzar rentats massa freqüents, a part del desgast innecessari, provoca un malbaratament energètic i d'aigua que es deuria evitar. Pel contrari, si els rentats son poc freqüents, el filtre pot col·lapsar, de manera que perd eficàcia i genera menys cabal del que podria, limitant així la capacitat de producció d'aigua pura de tota la planta.

3.1.1.2 Columnes descalcificadores

Els possibles problemes que podrien sorgir a les columnes descalcificadores són els següents:

- Resina en mal estat: Provocaria l'existència de duresa residual al final del cicle de descalcificació programat. Pot ser degut a un valor alt de clor lliure que haja deteriorat les resines.
- Capçal físicament deteriorat: Ocorre quan l'equip no realitza les regeneracions correctament. Una possible detecció és un valor alt de duresa a l'eixida d'aquest.
- Boia del tanc de salmorra bloquejada: El equip no realitzaria les regeneracions correctament i el valor de duresa a l'eixida seria alt.
- Conductivitat d'eixida molt alta: Ocorre quan el descalcificador no ha realitzat el llavat correctament, ja sigui per falta de temps o perquè la resina bloqueja la crepina.

3.1.1.3 Filtre de carbó actiu

Els problemes que podrien anar lligats al filtre de carbó actiu són els següents:

- Massa en mal estat: Es pot deure a una fuga de clor en la eixida o a un diferencial de pressió molt elevat, en els dos casos es provocaria una perforació de les membranes d'osmosi inversa a llarg termini.
- Capçal físicament deteriorat: Hi hauria una fuga de clor a la eixida o estaria contínuament tirant aigua pel desguàs.

3.1.1.4 Osmosi

Es poden dur a terme diversos problemes relacionats amb el procés d'osmosi, que normalment, són els següents:

- Perforació de la membrana: Com a tots els processos de filtració, les membranes que realitzen aquesta es van deteriorant amb el pas del temps o per l'acció d'alguns productes químics, de forma que es podria deixar passar partícules d'una mida major a la nominal del filtre.

No canviar dites membranes amb la freqüència estipulada, pot fer que aquestes acaben sent perforades i per tant, que redueixen la seua capacitat de filtració fins al punt de no ser efectives.

- Obstrucció de la membrana: És el cas contrari a la perforació, es dona quan aquestes en vegada de augmentar la mida dels seus forats, la redueixen per acumulació de brutícia, de manera que, en aquest cas, no és que es vaja a filtrar en excés, sinó que es veurà implicat en un descens de la productivitat, ja que es produirà menys aigua filtrada de la prevista, o es requerirà cada vegada una pressió major per tal de travessar la membrana obstruïda, el que implica un cost energètic major.

- Falta de pressió o cabal: Pot ser conseqüència o bé d'una obstrucció de les membranes com s'acaba d'explicar, o bé pot ser degut a la fallada d'algun dels equips anomenats de pre-filtració, és a dir, que no sigui la membrana d'osmosi la que falla sinó la de les columnes descalcificadores, per exemple.

- Punts morts: Els punts morts s'han d'evitar a tota costa, ja que l'aigua ja osmotitzada, ja ha sigut desinfectada amb el clor i altres químics que eliminen bacteries, per tant, és un aigua en cert sentit desprotegida front a possibles contaminacions. Als punts on l'aigua queda queta és el niu ideal per a la proliferació de microorganismes, és per això, que normalment els tancs d'emmagatzematge compten amb l'ajuda d'agitadors o circuits de recirculació.

3.1.1.5 Mesura de paràmetres

En quant a la mesura de paràmetres, hi ha diversos motius pels quals aquestes podrien ser errònies. Podem diferenciar bàsicament dues maneres de realitzar les mesures: automàtiques i manuals.

- Mesures automàtiques: Són aquelles que es duen a terme mitjançant un equip de mesura, normalment connectat en línia, que llegeix els valors de manera instantània. Per exemple, un cabalímetre, que mesura els litres d'aigua per unitat de temps que circulen per un punt de la instal·lació en un determinat instant, i emmagatzema aquests valors a una base de dades informatitzada, a la que després es pot accedir i es poden visualitzar aquestes dades normalment en forma de gràfics. Els motius pels quals podria fallar algun d'aquests equips és per desgast d'ús, de forma que algun dels seus components necessita ser reemplaçat. Per tal d'evitar fallades, aquests equips són revisats cada cert temps, de forma que es realitza un calibratge d'aquests per assegurar que funcionen d'acord als requeriments dels seus fulls de dades tècniques. A més, molts d'ells compten amb uns valors fixats com a normals, de manera que si s'obté algun valor fora del comú, sistemàticament envien un avís per tal de saber que alguna cosa no està funcionant correctament, per tant, són el tipus de mesura desitjada i la més segura en quant als errors provocats per lectures errònies.





- Mesures manuals: Són aquelles mesures que són dutes a terme per un operari, ja sigui de manera visual, o mitjançant l'ús d'algun equip o lector. Són les que més lloc a error poden donar, ja que segons l'operari que les pren, poden ser interpretades d'una manera distinta, és a dir, són mesures més subjectives que objectives. Les principals causes que ens poden dur a una fallada

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

d'aquest tipus solen ser bé per falta de formació de l'operari, o bé errors de transcripció a l'hora d'anotar els valors als fulls de dades.

En l'actualitat a la planta de pretractament hi ha varies mesures realitzades de manera manual que podrien ser crítiques. Aquestes són principalment la mesura de clor i la mesura de la duresa, que requereixen formació prèvia en l'ús de l'equip de mesura. Altres mesures com la lectura de manòmetres, podrien dur associats errors de transcripció, però que són fàcilment detectables, per tant, ens centrarem en estudiar les primerament citades.


La mesura de clor es realitza emprant l'equip Hanna Checker Free Chlorine, de la següent manera:

| PAS | REALITZACIÓ | COMENTARIS VISUALS |
|--|--|---|
| 6. Rentar el kit de mesura de Clor | Prenent aigua del punt de generació d'aigua pretractada, rentar el kit de mesura de Cloro 2 ó 3 vegades y buidar-lo. |  |
| 7. Toma d'aigua en el punto requerit | Omplir el recipient de mesura fins la marca indicada. |  |
| 8. Activar el mesurador de Clor | Pressionar el botó fins que aparegui C1 en la pantalla. |  |
| 9. Fer el cero en el mesurador de Clor | Introduir el recipient de mesura y pressionar el botó fins que aparegui C2. |  |

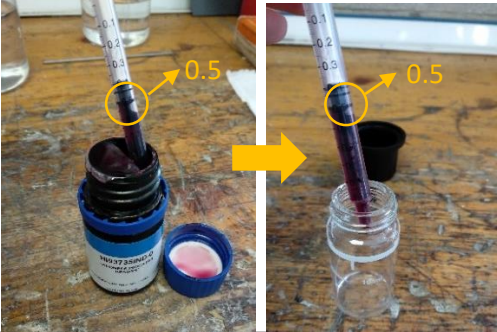
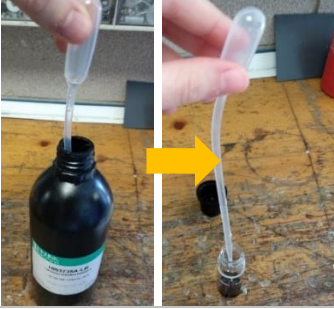




Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| | | |
|---|---|---|
| <p>10. Introduir el reactiu en la mostra</p> | <p>Treure el recipient de mesura del mesurador de Clor, obrir el sobre de reactiu, vertir en la mostra y agitar fins dissoldre el reactiu</p> |  |
| <p>11. Determinació de la concentració de Cloro</p> | <p>Introduir el recipient de mesura en el mesurador de Clor y mantenir C2 pulsat fins que aparegui un rellotge de compte enrere. Després de 1 minut apareix el valor de Clor lliure en ppm</p> |  |
| <p>12. Rentar el recipient de mesura</p> | <p>Rentar el recipient de mesura amb aigua tractada y apagar el mesurador pulsant el botó.</p> |  |

En quant a la mesura de duresa, es realitza de la següent manera:

| PAS | REALITZACIÓ | COMENTARIS VISUALS |
|---|--|---|
| <p>1. Prendre mostra en el punt d'aigua descalcificada</p> | <p>Omplir el got de mostra, de del punt etiquetat com "dureza".</p> |  |
| <p>2. Introduir 0.5ml d'aigua descalcificada en el recipient.</p> | <p>Utilitzar la xeringa per a succionar 0.5ml d'aigua descalcificada del got de mostra, i introduir-los en el recipient de mesura.</p> |  |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| | | |
|--|---|--|
| <p>3. Introduir 0.5ml del producte "HI93735IND-0"</p> | <p>Utilitzar la xeringa per a succionar 0.5ml del producte "HI93735IND-0", introduir-los en el recipient de mesura on ja es troben els 0.5ml d'aigua descalcificada.</p> |  |
| <p>4. Introduir el producte "HI93735A-LR" fins la marca de 10ml.</p> | <p>Utilitzar la pipeta para introduir el producte "HI93735A-LR" en el recipient de mesura fins la marca que indica 10ml.</p> |  |
| <p>5. Introduir dues gotes del producte "HI93735B-0"</p> | <p>Introduir dues gotes del producte "HI93735B-0" al recipient de mesura. Tapar roscant el tap y agitar.</p> |  |
| <p>6. Encès de l'equip.</p> | <p>Pulsar la tecla "ON". En la pantalla apareixeran unes línies y un missatge parpellejant amb el text "ZERO".</p> |  |
| <p>7. Introduir mostra</p> | <p>Introduir la mostra, és a dir, el recipient de mesura, en el buit. NOTA: La fletxa del aparell i la del tap deuen coincidir per a que estigui col·locat en la posició correcta.</p> |  |
| <p>8. Fer el "ZERO"</p> | <p>Pulsar el botó "ZERO". Esperar → El aparell farà el "ZERO". Apareixerà en la pantalla: "- 0.0 -"</p> |  |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| | | |
|---|--|--|
| <p>9. Introduir sobre de producte "HI93735C-0".</p> | <p>Traure e introduir el contingut d'un sobre de producte "HI93735C-0" en el recipient de mesura, tancar y agitar.</p> |  |
| <p>10. Realitzar Lectura</p> | <p>1. Introduir la mostra, és a dir, el recipient de mesura, en el buit.</p> <p>NOTA: La fletxa de l'aparell i la del tap deuen coincidir per a que estigui col·locat en la posició correcta.</p> <p>2. Pulsar el botó "READ".</p> <p>3. El aparell ens donarà el valor de la mesura en graus francesos.</p> |  |
| <p>11. Possibles errors de lectura</p> | <p>El error més comú de lectura és: "Err Zero Inv Read".</p> <p>Ocorre ja que l'aparell té un marge d'error en la mesura, i pot donar un valor menor que 0, per tant, creu que hemo posat la mostra del "ZERO", o el que es el mateix, que no hem afegit el contingut del sobre. En aquest cas, prendre com valor de mesura 0 graus francesos.</p> |  |

3.1.2 Possibles problemes associats a l'equip d'electro-desionització (Osmoline)

3.1.2.1 Dosificacions

Els problemes que podrien sorgir en alguna de les dosificacions de productes químics són els següents:

- Obstrucció de la sonda de dosificació: En els cassos en els que es compta amb un dipòsit d'emmagatzematge d'un producte químic en estat sòlid, aquest primer s'ha de dissoldre en aigua per tal de ser dosificat en la mesura correcta. En alguns casos, aquest producte inicialment sòlid, no realitza per complet la dissolució, i es formen una espècie de sediments, que podrien obstruir la sonda de succió.

- Fallada en el comptador d'impulsos: Aquest error pot ser degut bé a que el sistema de control que compta els impulsos no realitza correctament la seua funció degut a algun tipus de averia, o bé a que l'operari que programa aquest sistema, adjudiqui un valor de composició en ppm erroni de manera que no s'impulsa la quantitat correcta de producte, ja sigui per excés o per falta d'aquest. Dit problema podria ocasionar que algun dels paràmetres que són controlats mitjançant alguna addició, com podria ser per exemple la conductivitat, donen un valor fora d'especificacions, havent de parar la producció d'aigua pura.

- Trencament de la boia d'avís de baix nivell de producte: Quan açò ocorre, el que passa habitualment, és que quan el dipòsit d'emmagatzematge del producte químic es queda buit, no es genera cap tipus d'avís visual, per tant, quan l'operari revisa rutinàriament la instal·lació, pot no detectar el mal funcionament d'aquest.

3.1.2.2 Osmoline

A l'equip d'electro-desionització es poden donar diversos problemes, entre ells:

- Contrapressions: Les contrapressions són molt nocives en general per al sistema d'electro-desionització, ja que afecten negativament a la capacitat de regeneració del seu mòdul. Normalment son degudes a l'apertura i tancament bruscs de les vàlvules dels dipòsits.

- Conductivitat elevada: Es dona quan la dosificació de bicarbonat és incorrecta, si la conductivitat elevada es dona a l'entrada al sistema. Quan la conductivitat elevada es dona a l'eixida, el més probable és que el mòdul EDI haja deixat de funcionar correctament, ja sigui perquè ha perdut la seua capacitat de regeneració o perquè estigui esgotant la seua vida útil.

- Disminució de corrent: És un dels indicadors de necessitat de canvi de mòdul més important, ja que quan observem que després d'una regeneració el mòdul no aconsegueix tornar a la corrent assignada inicialment, és que està perdent la seua capacitat d'electro-desionitzar. És a dir, quan comencem a observar corrents més baixes que la establida, és perquè a l'equip li costa més produir un aigua de la qualitat exigida, i prompte serà necessària la seua substitució.

3.1.2.3 Dipòsits / Llaços de distribució

Els possibles problemes que poden sorgir associats als llaços de distribució són els següents:

- Paràmetres de qualitat fora d'especificacions: Es pot deure a una contaminació en l'anell de distribució o a un fallo en l'equip de generació d'aigua purificada. Una possible solució en aquest cas seria renovar l'aigua de l'anell o realitzar una sanitització química d'aquest.

- Fallo en el sistema de calfament: Pot ser degut a que la caldera estigui defectuosa o algun dels seus components (resistències, placa base...).

- Fallo en la bomba de distribució: En aquest cas, el sistema envia una alarma que para la recirculació.

- Fallo en llums UV: S'ha de comprovar el correcte funcionament de les reactàncies elèctriques, o si la llum ha esgotat la seua vida útil i s'ha de canviar.

3.2 Anàlisi de causes arrel

3.2.1 Indicadors d'error

3.2.1.1 Variació de resultats en mesures manuals

Com s'ha vist a l'apartat 3.1.1.5, es compta amb dues mesures manuals crítiques: la de clor i la de duresa. El procediment de ambdós s'ha explicat, i pot ser complex de dur a terme pels operaris, a més de que podria existir variació segons l'habilitat de l'operari que pren la mesura.

Analitzant les causes que podrien dur a error en dits procediments, serien les següents:

- Procediment de mesura manual de clor:
 - No rentar bé el recipient on es pren la mostra.
 - Agafar la mostra d'un punt de la instal·lació incorrecte.
 - Omplir el recipient de la mostra de menys / de més.
 - No vertir la quantitat correcta de reactiu a la mostra.
 - Deixar de polsar el botó abans de l'indicat.
 - No esperar que pase el minut per a obtenir el valor i confondre el compte enrere amb el valor de la mesura.
- Procediment de mesura manual de duresa:
 - Agafar la mostra d'un punt de la instal·lació incorrecte.
 - No succionar la quantitat exacta de 0'5ml amb la xeringa o 10ml amb la pipeta.
 - Confondre algun dels productes.
 - Introduir més o menys de dues gotes del producte "HI93735B-0" al recipient de mesura.
 - Que la fletxa de l'aparell i la del tap no coincideixen.
 - No introduir el contingut exacte d'un sobre de producte "HI93735C-0" o no agitar-lo correctament.
 - Confondre el recipient del "ZERO" amb el recipient de la mostra, i obtenir com a valor un fals 0.
 - Sensibilitat de l'aparell amb la llum, al treballar òpticament.

Tot i que ambdós procediments poden ser complicats, després d'un temps d'observació dels valors que els operaris prenen als fulls de dades a la revisió diària de les instal·lacions, es detecta que on més variació d'aquests hi ha es al valor de la duresa.

Es pren la decisió de reunir als operaris per tal de conèixer la seua opinió respecte dels mètodes de mesura, i tots coincideixen en que el de duresa és el més complicat i reconeixen no saber interpretar-lo en algunes ocasions.

Finalment, per aquests motius, i donat que les mostres d'aigua setmanals enviades al laboratori extern, corroboren el dit pels operaris fent una comparació de valors, es decideix proposar com

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

a millora per a les instal·lacions de la planta de pretractament, la instal·lació d'un mesurador de duresa automàtic.

3.2.1.2 Reparacions de manteniment recurrents

La principal reparació de manteniment recurrent que es realitza a la planta de generació d'aigua pura, és la substitució del mòdul EDI. Aquest, teòricament, segons les seues dades tècniques té una vida útil de al voltant de 5 anys.

La instal·lació de l'equip Osmoline d'electro-desionització es realitza a l'empresa a l'any 2017, pel que tècnicament aquest no hauria d'haver sigut substituït fins a l'any 2022 aproximadament.

Però en la realitat no ha sigut així, si accedim a la documentació oficial de l'empresa on es registren tots els canvis realitzats en l'equip, es pot observar que aquest ha sigut canviat 3 vegades com s'indica en la següent taula:

| Data | Canvi |
|------------|---------------------------------|
| 18/10/2018 | Substitució mòdul SEPTRON (EDI) |
| 05/09/2019 | Substitució mòdul SEPTRON (EDI) |
| 13/12/2019 | Substitució mòdul SEPTRON (EDI) |

Taula 4.Registre de canvis de mòdul EDI (Elaboració pròpia, 2021).

S'observa com el últim canvi és realitzat en tan sols 3 mesos de diferència, per tant, des del departament d'enginyeria d'instal·lacions es decideix reunir-se amb el proveïdor, per tal de posar alguna solució definitiva.

L'estudi per donar amb la solució a aquest problema, es basa en analitzar com ocorre i perquè, així és que abans de l'última substitució, s'estudia d'on pot vindre mirant l'històric de valors que registra el sistema:

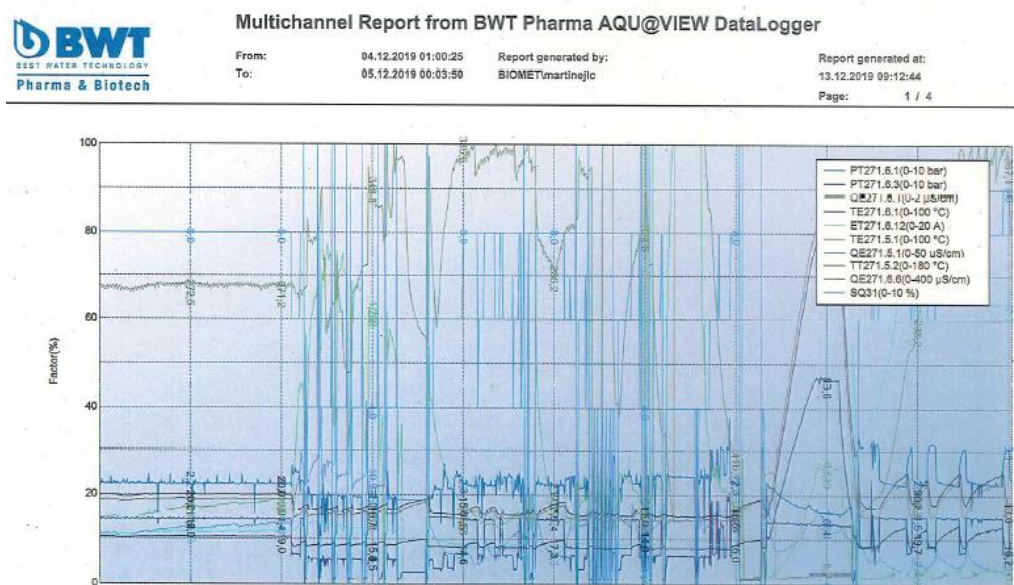


Figura 26. Històric de valors dels paràmetres del mòdul EDI (Imatge pròpia, adquirida de software Aquaview, 2021).

Els valors del gràfic anterior mostren problemes d'inestabilitat que es pensa que poden ser deguts a contrapressions i a la variació dels valors de conductivitat. Per tant es decideix el següent:

- Eliminar definitivament el bypass que alimenta al Osmoline (equip d'electrodesionització des de la UOCL (equip d'osmosi inversa de la planta de pretractament), no podent obrir ni tancar aquest mitjançant una vàlvula manual, que podria provocar contrapressions i variacions de conductivitat, ja que els operaris utilitzaven per a realitzar la dosificació de bicarbonat, de forma que es proposa com a millora un control automàtic d'aquest procediment.
- Es realitza un anàlisi exhaustiu de mòdul EDI una vegada retirat per a la seua substitució comprovant que aquest havia sigut danyat per els valors dels paràmetres de l'aigua, ja que no tenia evidències de fuites de cabal o fuites internes, sinó que tenia les resines en mal estat, i per això aquest havia perdut la seua capacitat de regeneració. Açò reforça la proposta d'automatitzar el control de la conductivitat mitjançant la dosificació automàtica de bicarbonat.

3.2.2 Seguiment dels indicadors

3.2.2.1 Monitorització de dades

Després de realitzar un cercle de qualitat (Quality Circle) en el que participen els departaments d'instal·lacions, microbiologia, qualitat i producció, i analitzar les possibles causes arrels que poden dur al canvi recurrent del mòdul EDI, es decideix realitzar una monitorització de dades, primer 5 mostres setmanals per veure com evoluciona, i després una última mesura mensual.

| Data | TOC (mg/l) | UFC/ml | Conductivitat (µS/cm) | Temperatura (°C) |
|------------|------------|--------|-----------------------|------------------|
| 10/09/2019 | 0,11 | < 1 | 0,4 | 20,1 |
| 18/09/2019 | 0,05 | < 1 | 0,6 | 21,4 |
| 24/09/2019 | 0,04 | < 1 | 0,7 | 22,5 |
| 01/10/2019 | 0,06 | < 1 | 0,47 | 20,4 |
| 08/10/2019 | 0,05 | < 1 | 0,41 | 22,7 |
| 12/11/2019 | 0,13 | < 1 | 0,87 | 18,6 |

Taula 4. Dades recollides per estudiar el mòdul EDI (Elaboració pròpia, 2021).

Les conclusions que es traen, és que encara que hi haja variació en els valors, aquests es troben dins de les especificacions estipulades per les distintes farmacopees, per tant, no deuria de donar cap problema associat als paràmetres en estudi, de manera que es decideix mesurar altres valors, a distints punts de la instal·lació, aquesta vegada, a l'entrada de l'equip i no a l'eixida com s'estava fent.

Els paràmetres que s'estudien a l'entrada es decideix realitzar-los per comparació d'aquests abans i després de realitzar el canvi de mòdul:

Abans:

| Punt Mesura | Pressió (bar) | Cabal (l/h) | Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Intensitat (A) |
|-------------|---------------|-------------|---|----------------|
| Concentrat | 1,5 | > 210 | 305 | - |
| EDI | - | - | - | 1,9 |
| Després EDI | 0,6 | - | 0,4 | - |

Taula 5. Dades recollides per estudiar els canvis de mòdul EDI, Abans del canvi (Elaboració pròpia, 2021).

Després:

| Punt Mesura | Pressió (bar) | Cabal (l/h) | Conductivitat ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Intensitat (A) |
|-------------|---------------|-------------|---|----------------|
| Permeat | 3,0 | 799 | 2,6 | - |
| Concentrat | 2,8 | > 200 | 360 | - |
| EDI | - | - | 0,035 | 9,0 |
| Després EDI | 0,7 | - | 0,035 | - |

Taula 6. Dades recollides per estudiar els canvis de mòdul EDI, Després del canvi (Elaboració pròpia, 2021).

D'aquesta comparació es pot arribar a les següents conclusions:

- La intensitat del mòdul EDI, està al seu punt d'operació (entre 8 i 10 A), abans amb el mòdul defectuós, es tenia una intensitat de 1,9 A, i al perdre la seua capacitat de regeneració, aquest no era capaç de tornar a dit punt.
- Abans del canvi de mòdul es tenia una conductivitat al concentrat menor, i s'obtenia una conductivitat d'eixida major, mentre que després del canvi, amb una conductivitat d'entrada major, s'obté una d'eixida menor, pel tant el mòdul és més eficient.
- S'han ajustat les pressions a les normals d'operació, ja que s'hagueren de baixar quan el mòdul no funcionava correctament, per tal de no danyar més les seues membranes en cas de que hagueren hagut fuites internes.

3.3 Propostes de millora als mètodes actuals

3.3.1 Automatització de la mesura de duresa

La proposta per a millorar la mesura de la duresa, és automatitzar-la. Aquesta automatització permetria esmenar els següents problemes detectats:

- Fugues de duresa residual (valor < 1^{af}) de manera periòdica després de l'equip de descalcificació degut a que el mostreig es realitza de manera manual. Els avisos de fuga no es realitzen correctament i les conseqüències es detecten molt a posteriori, arribant a ser crític per als equips d'osmosi inversa que son alimentats per aquesta aigua, suposadament descalcificada, pel que augmenten les incrustacions no desitjades a les membranes.
- Cicle volumètric dels descalcificadors erroni, degut a que les resines en la seua última fase del cicle de vida estan molt deteriorades. En conseqüència, als últims litres del cicle es tenen episodis de fuga de duresa.

Per a dur a terme dita automatització s'ha d'instal·lar l'equip Testomat 2000, que aportaria els següents avantatges:

- Control automàtic de la duresa residual a l'eixida dels descalcificadors.
- Enviament de senyal d'avis des de l'equip quan hi haja una fuga de duresa, que activa automàticament un senyal de regeneració de la columna, indicant que aquesta ha esgotat el seu cicle.
- Assegura que a l'eixida del descalcificador sempre hi haurà un valor de duresa $< 1^{\circ}f$, i que a la seua vegada s'entra als equips d'osmosi inversa amb dit valor, requeriment com s'ha dit amb anterioritat, indispensable per al correcte funcionament de les plantes d'osmosi.
- Evita les incrustacions de carbonats a les membranes d'osmosi allargant així de manera considerable el seu cicle de vida.
- L'equip permet enviar el valor i la lectura de duresa al sistema de control centralitzat de manera que es pot monitoritzar dit valor, les alarmes detectades, el nombre de regeneracions, el estat dels equips de descalcificació, etc. D'aquesta manera es genera un històric que permet el seu anàlisi.

Les mesures automatitzades per l'equip es prenen realitzant una lectura cada cert temps, és programable, i en aquest cas, es proposa un interval de 15-20 minuts. L'enviament d'aquest valor al sistema de control centralitzat permet controlar les possibles fugues i realitzar les maniobres de regeneració de les columnes de descalcificació.



Figura 27. Equip de mesura automàtica de duresa, Testomat 2000 (<https://www.lenntech.com/Data-sheets/Testomat-2000-usermanual-es-L.pdf>, 2021).

3.3.2 Automatització dosificació de bicarbonat

La idea a aquest punt es proposar la instal·lació d'un sistema de dosificació de bicarbonat sòdic per a la regulació i control automàtics de la conductivitat de l'aigua d'entrada al sistema d'electro-desionització.

En conjunt, la idea és no sols instal·lar el dispositiu de dosificació sinó també realitzar una programació integrada a l'equip.

Aquest canvi es proposa degut als problemes detectats amb anterioritat en quant als valors de la conductivitat, que no permetien a l'equip EDI realitzar les regeneracions del seu mòdul de manera efectiva, i que van ser els següents:

- Fallada en el sistema d'auto-regeneració del mòdul Septron, degut a una pèrdua gradual de conductivitat del sistema de concentrat Septroperm i a la seua vegada, una baixada d'intensitat que minva la capacitat de regeneració del mòdul EDI.
- Les incidències en la conductivitat del concentrat, i la conseqüent baixada d'intensitat del mòdul EDI provoquen un increment gradual de la conductivitat de diluït (aigua producte), arribant a superar en algun episodi els punts d'operació (set point) d'alarma permesos treballant fora d'especificacions.

Aplicar aquesta millora suposaria:

- Maximitzar l'eficiència d'intercanvi en la regeneració del mòdul d'electro-desionització. Dosificant el producte químic NaHCO_3 , s'aconseguirà mantenir un valor de conductivitat estable i constant a l'aigua de concentrat (al voltant de $350 \mu\text{S}/\text{cm}$) independentment del valor de la conductivitat de l'aigua de permeat entrant. Aquesta aportació externa de conductivitat, permet a l'equip Osmoline deixar de treballar amb una alta conductivitat d'entrada, ja que serà capaç d'ajustar-la per si mateix incrementant i regulant la conductivitat del concentrat. D'aquesta manera, es tanca el bypass de la UOCL i es permet que l'equip Osmoline treballe amb un aigua d'entrada de major qualitat (menor conductivitat), per tant, el permeat serà també de major qualitat i en conseqüència també ho serà l'aigua que entra al mòdul EDI (conductivitat de permeat d'entrada al mòdul EDI $< 3 \mu\text{S}/\text{cm}$).
- Estabilitzar el sistema, al mantenir constant el valor de la conductivitat, implicaria mantenir la intensitat de corrent al sistema d'electro-desionització entorn a un valor de 8 A. Açò ens assegurarà treballar en les òptimes condicions per a la correcta auto-regeneració del mòdul EDI.

Aquest sistema de dosificació treballarà de manera autònoma, amb una bomba servo controlada mitjançant un sistema de control PID, que dosificarà una quantitat de bicarbonat o altra en funció de la lectura de la conductivitat, i atenent a un punt d'operació (set point) de consigna programat a un PCL del quadre de control de l'equip Osmoline.



Figura 28. Equip de dosificació automàtica de bicarbonat (Imatge de pressupost de proveïdor, 2019).

3.3.3 Automatització ompliment de dipòsits d'aigua osmotitzada desionitzada (RO/DI)

Una de les propostes de millora seria, en aquest cas, la instal·lació d'un posicionador electrò-neumàtic a cadascuna de les tres vàlvules d'ompliment dels tancs d'aigua pura. La idea és que

aquests posicionadors puguin ser servo-controlats de manera que es regulen i programen a través del control de l'equip de generació d'aigua purificada (Osmoline).

Els motius pels quals es proposa aquesta millora són diversos:

Es detecten variacions de pressió a l'eixida del mòdul d'electro-desionització, durant els canvis d'escaló (step) de la lògica de funcionament (d'operació a recirculació i viceversa) de l'equip Osmoline.

L'equip de generació alimenta als tres dipòsits d'aigua purificada que demanden aigua en funció del seu nivell i de manera aleatòria sense ninguna prioritat al respecte dels tres. Aquesta manera de treballar provoca l'apertura i tancament de les vàlvules d'ompliment, creant contrapressions no desitjades, moltes vegades derivant en colps d'ariet, a l'eixida de l'aigua purificada o diluït (després del mòdul EDI).

La contrapressió màxima tolerable a l'eixida del mòdul EDI deuria ser inferior a 2.5 bar, ja que qualsevol sobrepressió patida pot malmetre el correcte funcionament de dit element.

Actualment, les vàlvules són neumàtiques de tipus tot o res, per tant no hi ha cap posicionador per a regular proporcionalment i de forma controlada la seua sobtada obertura o tancament. Amb la instal·lació d'aquests elements es vol aconseguir que les vàlvules tinguin obertura i tancament contra una consigna assignada i de forma gradual amb un temps de resposta adequat, evitant canvis de pressió bruscs en el sistema de generació i distribució als tres dipòsits d'aigua pura.

La instal·lació de dits elements implicaria:

- Una millora en les condicions de treball del sistema de generació i en concret del mòdul Septron, permetent sempre treballar dins de les especificacions d'operació, en aquest cas relatives a la pressió i contrapressió d'eixida de diluït tolerables.
- Una millora en la durabilitat i cicle de vida del mòdul EDI degut a que no estarà sotmès a un nivell tan elevat d'estrès per variabilitat en les pressions.
- Millores en el control d'ompliment dels tancs, així com control del temps de resposta i obertures de les vàlvules d'ompliment (sistema servo controlat per PID). Control automàtic de la pressió d'eixida del diluït (punt d'operació (set point) ajustable).

En resum, el canvi proposat a efectuar a l'equip de generació d'aigua purificada es basa en la instal·lació d'un posicionador electró-neumàtic en cadascuna de les tres vàlvules d'ompliment dels tancs d'emmagatzematge d'aigua pura. Aquests posicionadors servo-controlats per un sistema PID, es podran regular i programar a través dels PLC de l'equip de generació Osmoline.

Després dels problemes detectats amb la qualitat de l'aigua diluïda conseqüència d'un mal funcionament del mòdul EDI (en alguns episodis treballant en l'equip fora d'especificacions i donant alarmes per conductivitat alta i molt alta), es decideix finalment aplicar la nova millora a l'equip de generació, en la fase final del seu procés, en les vàlvules d'ompliment dels dipòsits d'aigua pura.

El que es vol esmenar i atenuar de forma controlada són les variacions de pressió que té el sistema de generació en els moments d'obertura i tancament de les vàlvules d'ompliment, i que repercuten de manera directa en la contrapressió que sofreix el mòdul EDI en els canvis de

passos i seqüències de l'equip Osmoline. D'aquesta manera es fixarà un nou punt d'operació per tal d'ajustar la pressió d'eixida del mòdul EDI.



Figura 29. Electrovàlvula servo-controlada per PID (Imatge de pressupost de proveïdor, 2019).

3.4 Validació de les millores

3.4.1 Monitorització dels resultats

La monitorització dels resultats que es prenen de les millores una vegada implantades, és realitzada per diferents equips, segons la mesura de la que parlem.

En quant a la automatització de la mesura de duresa, l'avantatge és evident, abans aquesta mesura era presa una vegada al dia manualment per un operari, mentre que ara, l'equip de mesura en línia monitoritza els resultats cada cert interval de temps, i aquest es pot consultar visualment a la pantalla de l'equip Testomat, o bé es pot accedir als registres del seu software on les dades queden emmagatzemades i poden ser consultades en qualsevol moment.

Pel que fa a l'automatització de la dosificació de bicarbonat, la monitorització dels resultats es pot realitzar gràcies a la recopilació de dades que realitza l'equip Osmoline. Aquest pren i emmagatzema els valors dels seus paràmetres principals, entre ells les pressions, la conductivitat a l'entrada i l'eixida, etc. El que ens indica l'efectivitat que està tenint la dosificació de bicarbonat és el valor de la conductivitat d'entrada. No obstant, observant la resta de paràmetres, es podrà veure les millores que açò aporta en quant als problemes anteriors de disminució de la capacitat de regeneració del mòdul EDI de l'equip d'electro-desionització.

Per tal de realitzar dita monitorització, l'equip Osmoline compta amb un software propi anomenat Aquaview, a través del qual podem accedir a descarregar els valors emmagatzemats en format .csv, que després pot ser obert per programes de tractament de dades, com per exemple, Excel. Està programant per realitzar un emmagatzemament de dades per minut, com que aquesta freqüència per a l'estudi de dades pot ser excessiva, per a l'apartat de comparació s'emprarà una mostra de dits valors, de forma que s'agafarà la mitja dels valors cada mitja hora i durant 12 hores.

Finalment, en referència a la monitorització dels resultats de les vàlvules d'apertura i tancament dels tancs d'emmagatzematge d'aigua pura, emprarem el mateix mètode que per a la dosificació del bicarbonat. És a dir, utilitzarem les dades proporcionades pel software Aquaview de l'equip

Osmoline, però en aquest cas, es centrarem en la comparació de valors de pressió a l'entrada i a l'eixida del mòdul EDI.

3.4.2 Comparació amb els resultats abans de la implantació de les millores

Com ja s'ha avançat al punt anterior, la comparació de resultats que es va a realitzar, és la aportada per el sistema de recopilació de dades de l'equip Osmoline, que ens permet analitzar els valors relacionats amb el sistema de dosificació automatitzat de bicarbonat i les vàlvules controlades per PID, doncs comparar la mesura de duresa instantània amb un valor que abans era diari no té massa sentit ja que la millora és clara i no cal justificar-la.

- Dades de l'equip Osmoline abans de la aplicació de les millores:

| Data i Hora | Pressió Entrada EDI (bar) | Pressió Eixida EDI (bar) | Conductivitat Entrada EDI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Conductivitat Eixida EDI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Intensitat EDI (A) |
|------------------|---------------------------|--------------------------|---|--|--------------------|
| 01/12/2019 23:07 | 2,213 | 1,455 | 272,471 | 0,166 | 2,135 |
| 01/12/2019 23:37 | 2,217 | 1,460 | 271,952 | 0,177 | 2,130 |
| 02/12/2019 0:07 | 2,218 | 1,460 | 269,990 | 0,192 | 2,150 |
| 02/12/2019 0:37 | 2,226 | 1,462 | 268,551 | 0,207 | 2,190 |
| 02/12/2019 1:07 | 2,250 | 1,460 | 267,111 | 0,428 | 2,307 |
| 02/12/2019 1:37 | 2,242 | 1,460 | 264,175 | 0,269 | 2,083 |
| 02/12/2019 2:07 | 2,237 | 1,459 | 258,955 | 0,225 | 2,020 |
| 02/12/2019 2:37 | 2,235 | 1,457 | 253,735 | 0,195 | 1,973 |
| 02/12/2019 3:07 | 2,233 | 1,457 | 254,925 | 0,182 | 1,963 |
| 02/12/2019 3:37 | 2,235 | 1,456 | 255,246 | 0,170 | 1,954 |
| 02/12/2019 4:07 | 2,240 | 1,457 | 255,567 | 0,161 | 1,908 |
| 02/12/2019 4:37 | 2,239 | 1,458 | 249,667 | 0,158 | 1,906 |
| 02/12/2019 5:07 | 2,232 | 1,455 | 252,104 | 0,155 | 1,912 |
| 02/12/2019 5:37 | 2,447 | 1,456 | 250,508 | 0,185 | 1,914 |
| 02/12/2019 6:07 | 2,255 | 1,462 | 261,377 | 0,315 | 2,143 |
| 02/12/2019 6:37 | 2,266 | 1,464 | 256,739 | 0,292 | 2,054 |
| 02/12/2019 7:07 | 2,210 | 1,458 | 256,656 | 0,278 | 1,977 |
| 02/12/2019 7:37 | 2,208 | 1,460 | 268,204 | 0,380 | 2,012 |
| 02/12/2019 8:07 | 2,275 | 1,471 | 263,336 | 0,233 | 1,881 |
| 02/12/2019 8:37 | 2,245 | 1,460 | 247,346 | 0,194 | 1,877 |
| 02/12/2019 9:07 | 2,272 | 1,459 | 232,155 | 0,162 | 1,766 |
| 02/12/2019 9:37 | 2,261 | 1,454 | 232,171 | 0,151 | 1,763 |
| 02/12/2019 10:07 | 2,253 | 1,454 | 233,181 | 0,134 | 1,724 |
| 02/12/2019 10:37 | 2,261 | 1,455 | 234,644 | 0,127 | 1,710 |
| 02/12/2019 11:07 | 2,288 | 1,464 | 224,445 | 0,137 | 1,797 |
| 02/12/2019 11:37 | 2,264 | 1,456 | 235,376 | 0,127 | 1,753 |

Taula 7. Dades de l'equip Osmoline abans de l'aplicació de les millores (Elaboració pròpia, 2021).

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

- Dades de l'equip Osmoline després de la aplicació de les millores:

| Data i Hora | Pressió Entrada EDI (bar) | Pressió Eixida EDI (bar) | Conductivitat Entrada EDI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Conductivitat Eixida EDI ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | Intensitat EDI (A) |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------|---|--|-----------------------|
| 27/03/2020 23:07 | 2,263 | 1,708 | 330,873 | 0,0521 | 6,918 |
| 27/03/2020 23:37 | 2,251 | 1,704 | 335,899 | 0,0545 | 7,029 |
| 28/03/2020 0:07 | 2,250 | 1,703 | 325,977 | 0,0539 | 6,956 |
| 28/03/2020 0:37 | 2,230 | 1,704 | 331,840 | 0,0571 | 7,032 |
| 28/03/2020 1:07 | 2,175 | 1,698 | 339,491 | 0,0658 | 7,536 |
| 28/03/2020 1:37 | 2,158 | 1,700 | 341,784 | 0,0703 | 7,779 |
| 28/03/2020 2:07 | 2,147 | 1,697 | 344,659 | 0,0727 | 7,935 |
| 28/03/2020 2:37 | 2,147 | 1,700 | 338,251 | 0,0734 | 7,911 |
| 28/03/2020 3:07 | 2,147 | 1,699 | 335,940 | 0,0734 | 7,952 |
| 28/03/2020 3:37 | 2,147 | 1,696 | 325,995 | 0,0728 | 7,881 |
| 28/03/2020 4:07 | 2,146 | 1,700 | 322,402 | 0,0723 | 7,856 |
| 28/03/2020 4:37 | 2,146 | 1,698 | 335,920 | 0,0725 | 7,957 |
| 28/03/2020 5:07 | 2,148 | 1,697 | 333,408 | 0,0731 | 7,956 |
| 28/03/2020 5:37 | 2,148 | 1,698 | 323,468 | 0,0722 | 7,873 |
| 28/03/2020 6:07 | 2,147 | 1,696 | 321,206 | 0,0718 | 7,860 |
| 28/03/2020 6:37 | 2,151 | 1,700 | 329,702 | 0,0718 | 7,876 |
| 28/03/2020 7:07 | 2,148 | 1,696 | 323,447 | 0,0722 | 7,890 |
| 28/03/2020 7:37 | 2,145 | 1,698 | 323,809 | 0,0723 | 7,893 |
| 28/03/2020 8:07 | 2,148 | 1,700 | 327,579 | 0,0729 | 7,944 |
| 28/03/2020 8:37 | 2,230 | 1,703 | 327,158 | 0,0575 | 7,142 |
| 28/03/2020 9:07 | 2,181 | 1,699 | 329,692 | 0,0663 | 7,590 |
| 28/03/2020 9:37 | 2,158 | 1,698 | 335,859 | 0,0708 | 7,866 |
| 28/03/2020 10:07 | 2,149 | 1,696 | 328,495 | 0,0718 | 7,871 |
| 28/03/2020 10:37 | 2,151 | 1,699 | 324,660 | 0,0715 | 7,856 |
| 28/03/2020 11:07 | 2,151 | 1,698 | 327,153 | 0,0714 | 7,865 |
| 28/03/2020 11:37 | 2,144 | 1,698 | 322,257 | 0,0728 | 7,900 |

Taula 8. Dades de l'equip Osmoline després de l'aplicació de les millores (Elaboració pròpia, 2021).

4. Conclusions

En aquest punt final, es tractarà de veure com d'efectives han sigut les millores implantades en la planta de purificació d'aigua, comparant gràficament diversos paràmetres monitoritzats i tabulats al capítol anterior d'anàlisi de resultats, per tal de traure una conclusió i veure realment que s'ha aconseguit.

Com bé s'ha explicat al llarg dels capítols anteriors, els objectius principals d'aquest projecte eren tres: reduir el consum d'aigua, reduir contrapressions i automatitzar processos. A grans trets, es podria dir que s'ha aconseguit dur a terme tots ells amb èxit.

En quant al primer dels objectius, s'ha aconseguit dur a terme mitjançant la instal·lació del mesurador en línia de duresa. Aquest fet pot haver passat desapercbut, ja que s'ha centrat l'atenció en els avantatges que ha suposat en quant a automatització de la presa la mesura en continu respecte de la mesura manual. En aquest punt, el lector té clar que hi ha una millora pel fet de passar de realitzar una mesura diària manualment, a tenir un equip que ho fa automàticament i de manera continua. No obstant, açò ha permès que a dia de hui la instal·lació consumisca molta menys aigua. En aquest cas, no es disposa de les dades que permeten acreditar-ho, ja que no ha sigut possible tenir accés als rebuts d'aigua de l'empresa, però és fàcil pensar que com s'ha pogut automatitzar el canvi entre columnes descalcificadores i el seu rentat en funció del valor de duresa mesurat, el consum d'aigua s'ha vist reduït. El fet de mesurar la duresa en continu, permet fer una programació dels rentats de les columnes molt més exacta i controlada, que fent aquestes per manteniment periòdic, sense saber realment l'estat. Per exemple, si els rentats abans es feien cada cert nombre d'hores, podria ser que en eixes hores encara no haguera sigut necessari i que s'haguera pogut allargar més sense arribar a danyar els seus elements, amb el conseqüent estalvi d'aigua. I aquest fet, repetit durant tots els dies, durant molts mesos i anys, suposa, clarament molt d'avantatge, tant mediambiental com econòmic.

Pel que fa al segon objectiu, reduir les contrapressions, també s'ha aconseguit satisfactòriament. El fet d'haver instal·lat vàlvules controlades per PID ha fet que la pressió d'entrada al mòdul d'electro-desionització tingui un valor molt més estable, i amb pics de menor intensitat. Açò es degut a que gràcies a aquest tipus de vàlvules, l'apertura es realitza de manera gradual, evitant així canvis bruscs en els valors de pressió. Açò es mostra al següent gràfic:

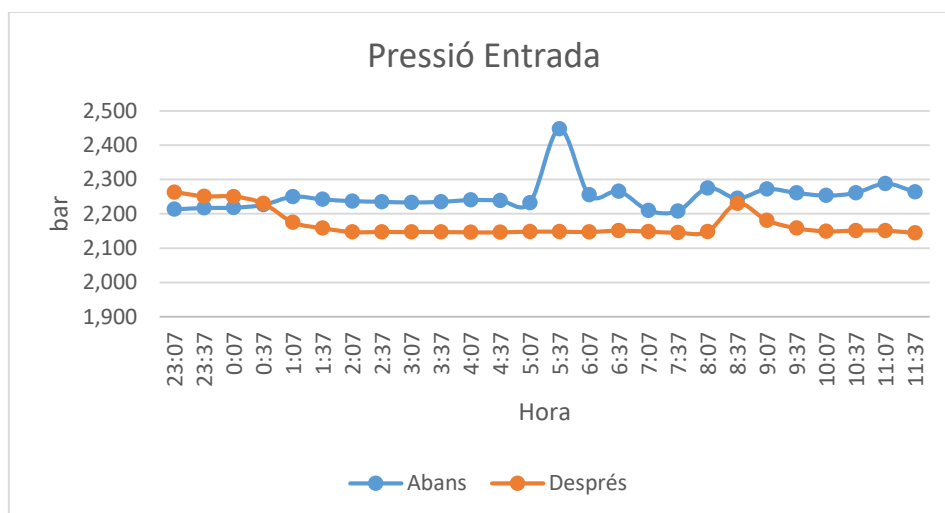


Figura 30. Gràfic comparatiu de la pressió d'entrada (Elaboració pròpia, 2021).

En l'anterior gràfic es pot observar en blau els valors d'abans d'instal·lar-les, quan l'apertura era del tipus tot o res, on destaca un pic amb un diferencial d'uns 0,2 bars i després d'aquest es pot veure com fluctua el valor en unes xicotetes ones de replica. Mentre que si s'observa el gràfic en taronja, que representa una mostra després de les millores, el màxim pic que es troba és d'uns 0,1 bars, és a dir, la meitat de la intensitat que suposava abans, i de fet, s'observa com les fluctuacions desapareixen, tornant gradualment al seu valor estabilitzat al voltant dels 2,15 bars.

L'altre paràmetre que s'ha de tenir en conter parlant de les sobrepressions, és la pressió d'eixida. Per a això s'analitza el següent gràfic:

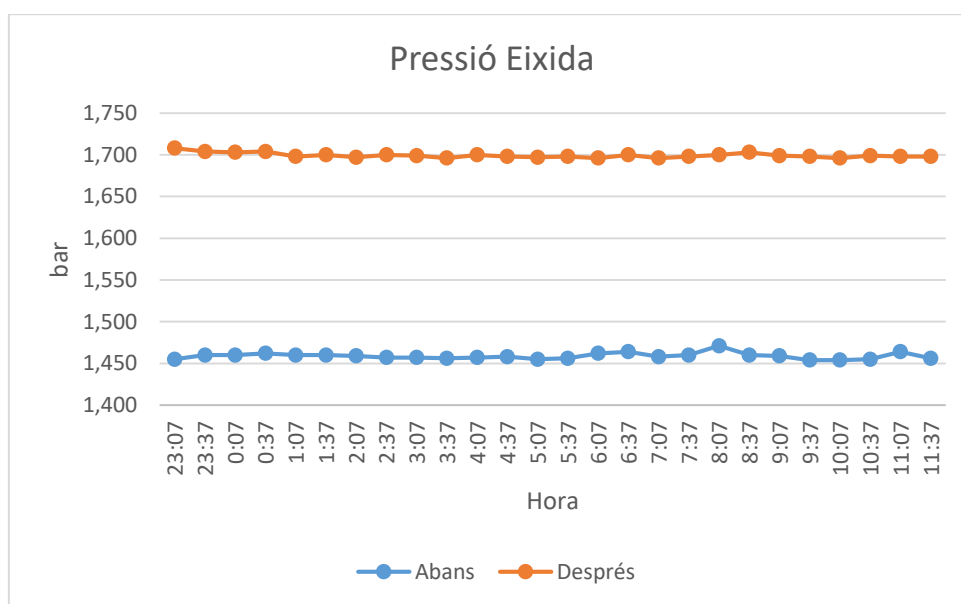


Figura 31. Gràfic comparatiu de la pressió d'eixida (Elaboració pròpia, 2021).

Bàsicament, el que es pot veure es com aquest paràmetre, ha sigut modificat per a tenir un valor de pressió a l'eixida més alt. Abans (color blau) aquest paràmetre tenia un valor de consigna a 1,45 bar, mentre que ara (color taronja) és de 1,7 bar. Aquest canvi s'ha introduït per tal de que hi haja una menor diferència de pressió entre l'entrada i l'eixida del mòdul EDI, ja que com es va avançar, les grans diferències de pressió i els pics d'aquesta causaven danys en les membranes i filtres de dit mòdul, per tenir-lo contínuament treballant sobrecarregat.

Per últim, pel que fa a l'objectiu d'automatització de processos, és un objectiu molt ampli. Es pot dir que amb les millores introduïdes per al primer i el segon objectiu, també s'està aconseguint el tercer, ja que la solució per a aquests ha passat per automatitzar, bé en el primer cas una mesura, o bé en el segon l'apertura de vàlvules. Però, un dels aspectes fonamentals de la millora de la instal·lació, com s'ha vist, ha sigut tractar de solucionar els problemes recurrents de canvi del mòdul d'electro-desionització. Estudiant aquest, es va veure com a part de les sobrepressions, aquest també era sensible als valors de conductivitat amb els que treballa. Per tant, sabent de la relació d'aquest paràmetre amb el bicarbonat, es va pensar en automatitzar la seua dosificació, per tal de tenir-lo controlat i sense dependre de addicions manuals.

El que s'ha aconseguit mitjançant la instal·lació del dosificador automàtic de bicarbonat queda reflectit en els valors del paràmetre de conductivitat. Analitzant la conductivitat a l'entrada del mòdul EDI, s'obté el següent gràfic:

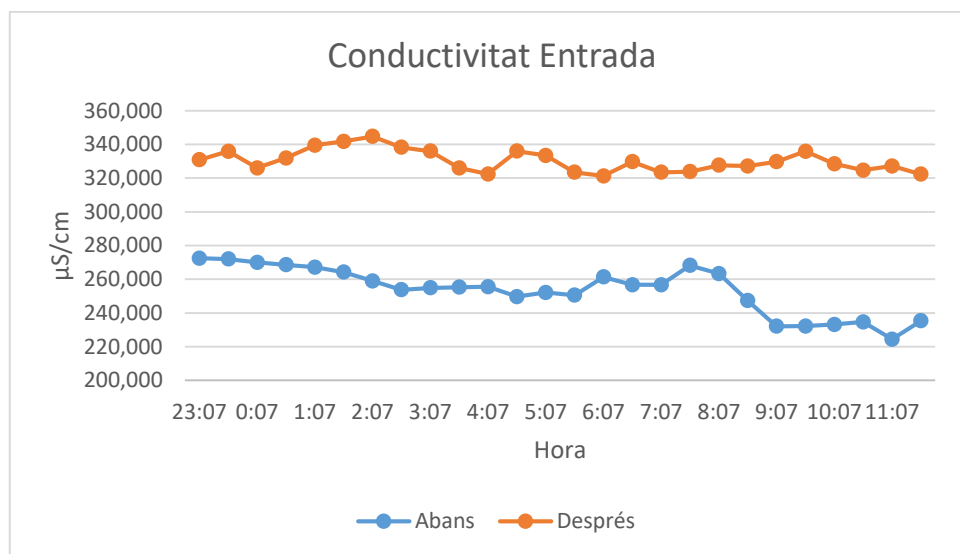


Figura 32. Gràfic comparatiu de la conductivitat d'entrada (Elaboració pròpia, 2021).

El que es pot observar, és que encara que continua tenint variabilitat en el seu valor, aquest està dins d'un rang més acotat. Abans (color blau) els valors variaven en uns 60 µS/cm, mentre que ara (color taronja) varien en uns 25 µS/cm, el que es tradueix en una millora de més del doble de precisió. Altre fet que és clar, és que el valor de conductivitat d'entrada ha augmentat. Açò indica que s'està emprant menys bicarbonat que abans, sense afectar negativament al correcte funcionament d'aquest.

En quant a la conductivitat d'eixida, s'ha aconseguit una millora extraordinària. Abans de dosificar automàticament el bicarbonat la variabilitat era enorme, sense cap regularitat i amb molts pics, que indiquen un clar mal control del paràmetre. Açò es degut entre altres motius a que quan es prenen les mesures, el mòdul d'electro-desionització, sabem que ja no estava treballant correctament, i així es com queda reflexat:

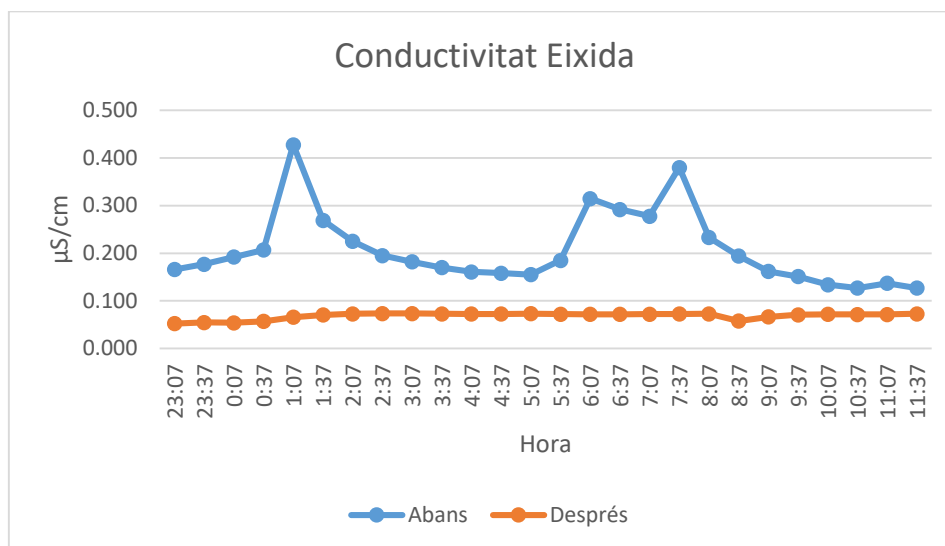


Figura 33. Gràfic comparatiu de la conductivitat d'eixida (Elaboració pròpia, 2021).

Al gràfic anterior es pot veure com la conductivitat d'eixida, efectivament, va a pics, s'intenta establir a un valor de consigna al voltant de 0,15 µS/cm sense cap èxit. Després d'instal·lar el dosificador, s'obté un valor prou constant, entre els 0,05 i els 0,1 µS/cm. En este aspecte, cal destacar, que a menor valor de la conductivitat d'eixida, millor funcionament s'ha obtingut del mòdul EDI, pel que la millora és evident.

A més, també es pot apreciar que veient els gràfics de conductivitat d'entrada i d'eixida, actualment, s'està obtenint un valor de conductivitat d'eixida menor, amb un valor de conductivitat d'entrada major, pel que el rendiment del mòdul està sent molt més elevat.

Per a finalitzar, es constata el correcte funcionament del mòdul d'electro-desionització després de les millores aplicades per a aquest, observant el seu paràmetre d'operació que és la intensitat. La intensitat d'aquest segons les especificacions del fabricant, per a que tingui un funcionament nominal, i per aprofitar al màxim la seua vida útil, ha de estar entre 8 i 10 A.

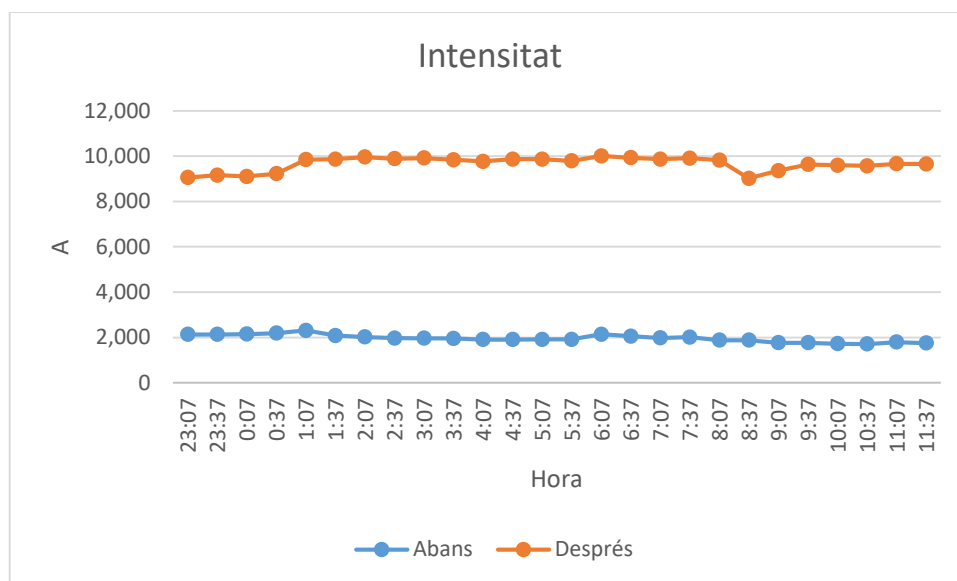


Figura 34. Gràfic comparatiu de la intensitat (Elaboració pròpia, 2021).

Com es veu a aquest últim gràfic, abans de les millores (color blau), el mòdul no tenia capacitat de regeneració, ja que quan aquest està en bon estat opera en el rang anteriorment indicat, i estava funcionant solament a 2 A, és a dir, la intensitat que el recorria no era la suficient com per a realitzar el procés d'electro-desionització correctament, i és per això que la conductivitat que s'obtenia a l'eixida era tan irregular. Aquest era el causant de valors fora d'especificacions que feien parar la planta de producció d'aigua purificada, i en algunes ocasions, la planta de producció d'implants dentals al seu pas pel rentat de desinfecció, amb els conseqüent cost econòmic que açò comporta per a l'empresa.

Actualment, i després de quasi 2 anys des de l'últim canvi de mòdul EDI, s'espera que aquest pugui arribar finalment a funcionar fins esgotar la seua vida útil, sols així es podrà saber si el problema amb aquest s'ha solucionat amb certesa, el que si podem afirmar, és que s'ha aconseguit una clara millora, i que va en camí d'aconseguir dit propòsit.

5. Bibliografia

Zimmer Biomet (2021). Solucions i especialitats de l'empresa.

<https://www.zimmerbiomet.eu/medical-professionals.htm>

Ignacio Lerín, Carlos Espina, Pilar Carrión, Laila Guasch (2007). Tratamiento de aguas.

Quadre 1. Farmespaña Industrial, Novembre/Desembre 07.

BWT (2021). Requisits d'aigua purificada.

<https://www.bwt-pharma.com/es/agua-purificada/?Country=ES>

Repte experimenta (25 Març 2020). *L'arc de Sant Martí: Experimentem amb el pH.*

<https://www.repteexperimenta.cat/2020/larc-de-sant-marti-experimentem-amb-el-ph/>

Reitec serveis d'enginyeria (2021). Descàrregues web sector de l'aigua.

<http://www.reitec.es/Pdf/agua01.pdf>

Eme Chicano (2015). *Cicle de l'oxigen*. Consulta Wikipedia en 2021.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Cicle_de_l'oxigen

Facsa Notícies (23 Gener 2017). *La duresa del aigua.*

<https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>

Centre d'aprenentatge Carbotecnia (16 Novembre 2020). *Desinfección del agua mediante cloro libre y combinado.*

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/desinfeccion/desinfeccion-agua-cloro-libre/>

Diccionari Lexico (2021). Definició de clorur.

<https://www.lexico.com/es/definicion/cloruro>

Centre d'aprenentatge Carbotecnia (17 Novembre 2020). *Silice.*

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/que-es-el-silice-y-como-afecta-en-el-agua/>

Maria José Ayora Cañada (2013). *Tema 13. Reacciones de oxidación - reducción.*

http://www4.ujaen.es/docencia_archivos

G. Costas (22 Març 2014). *El potencial redox.*

<https://cienciaybiologia.com/el-potencial-redox/#:~:text=El%20potencial%20redox%20es%20una,mide%20la%20de%20los%20electrones>

Aguaresiduales.info (26 Abril 2017). *La medida del potencial redox para el control de la eficiencia en la desinfección del agua.*

<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/medida-del-potencial-de-oxidacion-reduccion-para-el-control-de-la-eficiencia-de-la-de-2XMk>

Ministeri per a la transició ecològica (2021). *CARBONO ORGÁNICO TOTAL (COT)(COMO C TOTAL O DQO/3)*

<https://prtr-es.es/Carbono-organico-total-COTComo-C,15663,11,2007.html#:~:text=El%20Carbono%20Org%C3%A1nico%20Total%20es,su%20metabolismo%2C%20excreci%C3%B3n%20y%20descomposici%C3%B3n>

Mike T. (7 Setembre 2018). *Reducción de Carbono Orgánico Total (TOC).*

<https://es.pureaqua.com/reduccion-de-carbono-organico-total-toc/>

Enciclopedia Web Quimica.es (2021). Definició unitats formadores de colònies.

https://www.quimica.es/enciclopedia/Unidad_formadora_de_colonias.html

Fluinamics (2021). Presentació Power Point: *AGUA PARA USOS FARMACÉUTICOS.*

<https://fluinamics.com/es/documentacion/tablas/07.agua-usos-farmaceuticos.pdf>

Nutrinews (18 Octubre 2018). *Las micotoxinas y las endotoxinas tienen una acción conjunta.*

<https://nutricionanimal.info/las-micotoxinas-y-las-endotoxinas-tienen-una-accion-conjunta>

Centre d'aprenentatge Carbotecnia (22 Desembre 2020). *Filtros industriales de agua | Tipos y aplicaciones.*

https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-industriales-de-agua-tipos-y-aplicaciones/#Filtros_industriales_de_lecho_profundo

Burkert Fluid Control Systems (2021). *Tipo 8220 - Sensor de conductividad.*

<https://www.burkert.es/es/type/8220>

Burkert Fluid Control Systems (2021). *Tipo 0142 - Válvula de membrana de 2/2 vías servocontrolada.*

<https://www.burkert.es/es/type/0142>

Antonio L. Alarcón Vera (Julio 1998). *Modificaciones de conductividad eléctrica en fertirrigación.* Revista Horticultura, publicación 130.

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_1998_1_30_50_53.pdf

Centre d'aprenentatge Carbotecnia (19 Maig 2021). *¿Qué es la electrodeionización EDI?.*

<https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/electrodeionizacion-edi/que-es-la-electrodeionizacion/>

BWT (2021). *OSMOLine. Concepto Open Frame como estándar para la producción de PW.*

<https://www.bwt-pharma.com/es/productos/agua-purificada/osmoline/>

Lenntech (2021). *Manual de instrucciones Testomat 2000®.*

<https://www.lenntech.com/Data-sheets/Testomat-2000-usermanual-es-L.pdf>

PRESSUPOST

1. Introducció Pressupost

1.1. Descripció Pressupost

El pressupost és un document essencial per a qualsevol tipus de projecte, ja que és on es contempla el cost total d'aquest part per part. És imprescindible descriure adequadament els capítols i unitats d'obra que van a formar part d'aquest, per tal de que quede ben justificat i sense dubte per a l'empresa o client que vaja a rebre'l, de forma que entenga perquè està pagant el seu preu final.

Segons s'ha redactat a la memòria i als seus distints capítols, en aquest treball final de grau, s'ha realitzat un projecte de millora de les instal·lacions d'aigua pura d'una empresa dedicada a la fabricació d'implants dentals. El temps estimat del desenvolupament d'aquest i d'acord a l'equivalent a 12 crèdits ECTS (1 crèdit ECTS = 20 hores mínim), és d'aproximadament 240 hores. En els següents capítols del pressupost es vorà com s'han repartit aquestes.

1.1.1. Descripció capítols i unitats d'obra

- Capítol 1. Desenvolupament del projecte en l'empresa.
 - U.O.1.1 – Detecció i anàlisi de necessitats de millora.
 - U.O.1.2 – Estudi de dades i mesura de paràmetres.
 - U.O.1.3 – Instal·lació de les millores
- Capítol 2. Desenvolupament del TFG.
 - U.O.2.1 – Reunió inicial i recollida d'informació
 - U.O.2.2 – Redacció de la memòria.
 - U.O.2.3 – Revisió i supervisió.

1.1.2. Càlcul costs material

En aquest punt, es va a calcular el preu associat als materials emprats per a la realització del projecte, en funció de la seua vida útil, per a després utilitzar aquests al quadre de preus corresponent.

| Recurs | Preu (€) | Vida útil estimada (h) | Cost unitari (€/h) |
|---|----------|------------------------|--------------------|
| Ordinador Portàtil | 600 | 35000 | 0,0170 |
| Llicència Windows 10 Home | 14,90 | 8760 | 0,0017 |
| Llicència Microsoft Office 365 | 69 | 8760 | 0,0078 |
| Llicència Software Osmoline Aquaview | 10000 | 8760 | 1,1415 |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| | | | |
|--|-----|-------|--------|
| Farmacopea Europea | 540 | 8760 | 0,0616 |
| Formació Yellow Belt "Six Sigma" | 139 | 43800 | 0,0032 |
| Sonda Conductivitat "Bürkert Tipo 8220" | 363 | 17520 | 0,0207 |
| Instrument mesura clor "Hanna Checker Free Chlorine" + Reactius | 79 | 720 | 0,1097 |
| Instrument mesura duresa "Hanna HI96741" + Kit reactius | 470 | 2160 | 0,2176 |

2. Pressupost

2.1. Quadres de preus

| Quadre 1. Preus dels jornals (mà d'obra) | | | |
|---|---------------|-----------------------|-----------------|
| Codi | Unitat | Descripció | Preu (€) |
| EG | h | Estudiant Grau | 10,00 |
| DP | h | Director del Projecte | 12,50 |
| E | h | Enginyer | 12,50 |
| TM | h | Tècnic Manteniment | 10,00 |

| Quadre 2. Preus dels materials | | | |
|---------------------------------------|---------------|---|-----------------|
| Codi | Unitat | Descripció | Preu (€) |
| OP | h | Ordinador Portàtil | 0,0170 |
| LW | h | Llicència Windows 10 Home | 0,0017 |
| LM | h | Llicència Microsoft Office 365 | 0,0078 |
| LS | h | Llicència Software Osmoline Aquaview | 1,1415 |
| FE | h | Farmacopea Europea | 0,0616 |
| FYB | h | Formació Yellow Belt "Six Sigma" | 0,0032 |
| SC | h | Sonda Conductivitat "Bürkert Tipo 8220" | 0,0207 |
| MCL | h | Instrument mesura clor "Hanna Checker Free Chlorine" + Reactius (1 mes) | 0,1097 |
| MD | h | Instrument mesura duresa "Hanna HI96741" + Kit reactius (3 mesos) | 0,2176 |
| TD | ud | Testomat 2000 | 8.000 |
| DB | ud | Dosificador Automàtic de Bicarbonat | 6.000 |
| VP | ud | Vàlvula PID | 1.800 |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| Quadre 3. Preus unitaris | | | | | |
|---|---------------|--|---------------|--------------|--------------------|
| Codi | Unitat | Descripció | Mesura | Preu | Import |
| Capítol 1. Desenvolupament del projecte en l'empresa | | | | | |
| U.O.1.1 | ud | Detecció i anàlisi de necessitats de millora | 1 | 757,08 | 757,08 |
| U.O.1.2 | ud | Estudi de dades i mesura de paràmetres | 1 | 3.633,08 | 3.633,08 |
| U.O.1.3 | ud | Instal·lació de les millores | 1 | 20.291,00 | 20.291,00 |
| | | | | TOTAL | 24.681,16 € |
| Capítol 2. Desenvolupament del TFG | | | | | |
| U.O.2.1 | ud | Reunió inicial i recollida d'informació | 1 | 255,00 | 255,00 |
| U.O.2.2 | ud | Redacció de la memòria | 1 | 1.032,73 | 1.032,73 |
| U.O.2.3 | ud | Revisió i supervisió | 1 | 288,62 | 288,62 |
| | | | | TOTAL | 1.576,35 € |

| Quadre 4. Preus descompostos | | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|------------------|--------------|-----------------|
| Codi | Unitat | Descripció | Rendiment | Preu | Import |
| Capítol 1. Desenvolupament del projecte en l'empresa | | | | | |
| U.O.1.1. Detecció i anàlisi de necessitats de millora | | | | | |
| EG | h | Estudiant Grau | 24 | 10,00 | 240,00 |
| E | h | Enginyer | 30 | 12,50 | 375,00 |
| TM | h | Tècnic de Manteniment | 12 | 10,00 | 120,00 |
| FYB | h | Formació Yellow Belt "Six Sigma" | 8 | 0,0032 | 0,0256 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 735,03 | 22,0509 |
| | | | | TOTAL | 757,08 € |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| U.O.1.2. Estudi de dades i mesura de paràmetres | | | | | |
|--|----|---|------|--------------|--------------------|
| EG | h | Estudiant Grau | 100 | 10,00 | 1000 |
| E | h | Enginyer | 100 | 12,50 | 1250 |
| TM | h | Tècnic de Manteniment | 50 | 10,00 | 500 |
| OP | h | Ordinador Portàtil | 100 | 0,0170 | 1,70 |
| LW | h | Llicència Windows 10 Home | 100 | 0,0017 | 0,17 |
| LM | h | Llicència Microsoft Office 365 | 100 | 0,0078 | 0,78 |
| LS | h | Llicència Software Osmoline Aquaview | 20 | 1,1415 | 22,83 |
| FE | h | Farmacopea Europea | 2 | 0,0616 | 0,12 |
| SC | h | Sonda Conductivitat "Bürkert Tipo 8220" | 2160 | 0,0207 | 44,71 |
| MCL | h | Instrument mesura clor "Hanna Checker Free Chlorine" + Reactius (1 mes) | 2160 | 0,1097 | 236,95 |
| MD | h | Instrument mesura duresa "Hanna HI96741" + Kit reactius (3 mesos) | 2160 | 0,2176 | 470,00 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 3.527,26 | 105,82 |
| | | | | TOTAL | 3.633,08 € |
| U.O.1.3. Instal·lació de les millores | | | | | |
| TM | h | Tècnic de Manteniment | 30 | 10 | 300 |
| TD | ud | Testomat 2000 | 1 | 8.000 | 8.000 |
| DB | ud | Dosificador Automàtic de Bicarbonat | 1 | 6.000 | 6.000 |
| VP | ud | Vàlvula PID | 3 | 1.800 | 5.400 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 19.700 | 591 |
| | | | | TOTAL | 20.291,00 € |
| Capítol 2. Desenvolupament del TFG | | | | | |

Projecte de millora de les instal·lacions de purificació d'aigua en indústria dedicada a la fabricació d'implants dentals

| U.O.2.1. Reunió inicial i recollida d'informació | | | | | |
|---|---|--------------------------------------|------|--------------|-------------------|
| EG | h | Estudiant Grau | 18 | 10 | 180,0 |
| DP | h | Director del Projecte | 1 | 12,5 | 12,50 |
| E | h | Enginyer | 4 | 12,5 | 50,00 |
| OP | h | Ordinador Portàtil | 18 | 0,0170 | 0,306 |
| LM | h | Llicència Microsoft Office 365 | 18 | 0,0078 | 0,140 |
| LS | h | Llicència Software Osmoline Aquaview | 4 | 1,1415 | 4,566 |
| FE | h | Farmacopea Europea | 1 | 0,0616 | 0,0616 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 247,57 | 7,43 |
| | | | | TOTAL | 255,00 € |
| U.O.2.2. Redacció de la memòria | | | | | |
| EG | h | Estudiant Grau | 100 | 10 | 1000 |
| OP | h | Ordinador Portàtil | 100 | 0,0170 | 1,70 |
| LW | h | Llicència Windows 10 Home | 100 | 0,0017 | 0,17 |
| LM | h | Llicència Microsoft Office 365 | 100 | 0,0078 | 0,78 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 1.002,65 | 30,08 |
| | | | | TOTAL | 1.032,73 € |
| U.O.2.3. Revisió i supervisió | | | | | |
| EG | h | Estudiant Grau | 8 | 10 | 80 |
| DP | h | Director del Projecte | 16 | 12,5 | 200 |
| OP | h | Ordinador Portàtil | 8 | 0,0170 | 0,136 |
| LW | h | Llicència Windows 10 Home | 8 | 0,0017 | 0,0136 |
| LM | h | Llicència Microsoft Office 365 | 8 | 0,0078 | 0,0624 |
| | % | Costs directes complementaris | 0,03 | 280,21 | 8,41 |
| | | | | TOTAL | 288,62 € |

2.2. Pressupost General

| Pressupost General | |
|---|--------------------|
| Pressupost d'Execució Material (PEM) | |
| Capítol 1. Desenvolupament del projecte en l'empresa | 24.681,16 |
| Capítol 2. Desenvolupament del TFG | 1.576,35 |
| Total PEM | 26.257,51 € |
| Despeses Generals (15% PEM) | 3.938,63 |
| Benefici Industrial (6% PEM) | 1.575,45 |
| Pressupost d'Execució per Contracta (PEC) | 31.771,59 € |
| IVA 21% | 6.672,034 |
| Pressupost TOTAL | 38.443,62 € |

El pressupost d'aquest projecte ascendeix per tant a la quantia de TRENTA-VUIT MIL QUATRE-CENTS QUARANTA-TRES EUROS AMB SEIXANTA-DOS CÈNTIMS.